

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN
ÜBER EINIGE ERGOMETRISCHE METHODEN
ZUR PRÜFUNG
DER KÖRPERLICHEN LEISTUNGSFÄHIGKEIT
IM KINDES- UND JUGENDALTER

von

RÜDIGER HOCKE

1961



Digitized by the Internet Archive
in 2026

AUS DER KINDERPOLIKLINIK DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Direktor: Professor Dr.G. WEBER

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN ÜBER
EINIGE ERGOMETRISCHE METHODEN ZUR PRÜFUNG DER
KÖRPERLICHEN LEISTUNGSFÄHIGKEIT IM KINDES- UND JUGENDALTER

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät der
Ludwig - Maximilians - Universität zu München

vorgelegt von
Rüdiger H o c k e
aus
Breslau.

München 1961

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Professor Dr. Th. HELLBRÜGGE
Mitberichterstatter:	Professor Dr. G. WEBER
Dekan:	Professor Dr. Dr. H. EYER

Tag der mündlichen Prüfung: 9. Mai 1961.



Meinen Eltern
in Dankbarkeit gewidmet

INHALTSÜBERSICHT

- I. Grundveränderungen von Pulsfrequenz, Blutdruck und Sauerstoffverbrauch bei Arbeit
- II. Indices zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit nach Angaben in der Literatur.
 - 1) Undefinierte Belastungen
 - 2) Definierte Belastungen
- III. Eigene Untersuchungen
 - 1) Methodik
 - a) Untersuchungsgut
 - b) Meßanordnung
 - c) Versuchsanordnung
 - d) Angewandte statistische Methoden
 - 2) Ergebnisse
 - a) Die Abhängigkeit des Leistungsverhaltens vom Lebensalter
 - b) Beziehung zwischen verschiedenen Methoden zur Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen
 - c) Statistische Analyse der Ergebnisse
 - 3) Diskussion der Ergebnisse
- IV. Zusammenfassung
- V. Literaturverzeichnis
- VI. Lebenslauf

Übersicht über die Abbildungen und Tabellen.

Abbildungen:		Seite
Abb. 1	Beziehung zwischen den Werten des Leistungspulsindex und der "working capacity"	53
Abb. 2	Beziehung zwischen den Werten des Leistungspulsindex und der Gesamtpulssumme	55
Abb. 3	Beziehung zwischen den Werten des Leistungspulsindex und des Amplitudenfrequenzproduktes	57
Abb. 4	Beziehung zwischen den Werten des Amplitudenfrequenzproduktes und der Gesamtpulssumme	58
Abb. 5	Beziehung zwischen den Werten der Gesamtpulssumme und der "working capacity"	60
Abb. 6	Beziehung zwischen den Werten des Amplitudenfrequenzproduktes und der "working capacity"	62
Tabellen:		
Tab. 1	Aufgliederung des Untersuchungsgutes nach Alter, Geschlecht und Beruf	26
Tab. 2	Vergleich von Körpermaßdaten unserer Kinder und Jugendlichen mit Normwerten von BACH	28
Tab. 3	Aufgliederung des Untersuchungsgutes nach Reifestufen	26
Tab. 4	Belastungsstufen für die einzelnen Altersstufen zur Ermittlung der "working capacity"	34
Tab. 5	Veränderungen des Leistungspulsindex in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht der Versuchspersonen	39
Tab. 6	Veränderungen der "working capacity" in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht der Versuchspersonen	41

	Seite
Tab. 7 Veränderungen der Arbeitspulssumme in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht der Versuchspersonen	44
Tab. 8 Veränderungen der Erholungspulssumme in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht der Versuchspersonen	46
Tab. 9 Veränderungen der Gesamtpulssumme in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht der Versuchspersonen	48
Tab. 10 Veränderungen des Grenzamplitudenfrequenzproduktes vom Wert 10 000 in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht der Versuchspersonen	50
Tab. 11 Die Korrelationskoeffizienten für die Beziehung zwischen den verschiedenen Indices mit Angabe der z-Werte, sowie der Anzahl der Untersuchungspersonen (n)	64
Tab. 12 Differenzen zwischen den gefundenen Korrelationskoeffizienten der Buben (Prüfung der Korrelationsunterschiede über die z-Transformation)	64
Tab. 13 Differenzen zwischen den gefundenen Korrelationskoeffizienten der Mädchen (Prüfung der Korrelationsunterschiede über die z-Transformation)	66
Tab. 14 Differenzen zwischen den verschiedenen Korrelationskoeffizienten unseres gesamten Untersuchungsgutes (Prüfung der Korrelationsunterschiede über die z-Transformation)	66

I. Grundveränderungen von Pulsfrequenz, Blutdruck und Sauerstoffverbrauch bei Arbeit.

Die körperliche Arbeit, ein zentrales Problem der menschlichen Existenz, stellt eine Vielfalt von Anforderungen an den Organismus des Menschen. Zirkulations- und Respirationsorgane haben die Aufgabe durch Veränderung der ihre Leistung beeinflussenden Funktionen diesen Anforderungen Rechnung zu tragen. Wesentlich bestimmend für die Zunahme der einzelnen Funktionen ist dabei der vermehrte Sauerstoffbedarf am Ort des gesteigerten Energieverbrauchs, nämlich in den arbeitenden Muskeln.

Zwischen der verlangten Leistung und dem Sauerstoffmeherverbrauch besteht bei dynamischen Arbeiten eine lineare Abhängigkeit. Allerdings bedarf es bei jeder Arbeit einer geringen Anlaufzeit bis die aufgenommene Sauerstoffmenge der erforderlichen entspricht. Bei leichten bis mittelschweren Arbeiten beträgt dieses Intervall etwa 2 - 4 Minuten.

In der Überbrückungszeit setzt der Organismus durch anoxydative Vorgänge die notwendigen Energien frei. Es wird während dieser sauerstoffärmeren Phase als Endprodukt des Stoffwechsels anstelle von CO_2 und H_2O vermehrt Milchsäure gebildet. Das dabei auftretende Sauerstoffdefizit muß nach Beendigung der Arbeit abgetragen werden. Darum sinkt nach Arbeitsende der Sauerstoffverbrauch nicht sofort wieder auf Ruhewerte ab. Der Abfall folgt in seinem Verlauf vielmehr einer Exponentialkurve. Die in der Erholungszeit gefundene Sauerstoffmehraufnahme im Vergleich zum Ruhewert wird als "oxygen debt" bezeichnet. Bei relativ schweren Belastungen kann die maximale "oxygen debt" bis zu 15 und 22 Litern betragen.

Um das notwendige O_2 -Angebot zu garantieren, müssen sich die verschiedenen Atem- und Kreislaufgrößen in ihrer Funktion ändern.

So zeigt das Atemminutenvolumen, das Produkt aus Atemfrequenz und Atemtiefe, je nach Höhe der Belastung verschiedene Werte. Es schwankt in Ruhe zwischen 6 und 12 Litern pro Minute. Bei leichten bis mittelschweren konstanten Arbeiten erreicht zunächst die Atemfrequenz ein bestimmtes Niveau, meist innerhalb von 3-4 Minuten. Die Atemtiefe stellt sich erst nach etwa 1-2 Minuten später auf einen gleichbleibenden Wert ein.

Bei konstanten sehr schweren Arbeiten nimmt das Atemminutenvolumen von einer individuell sehr verschiedenen Größe ab nur noch durch Erhöhung der Atemfrequenz zu. Die durchschnittliche obere Grenze der Atemfrequenz beträgt etwa 40-50 Atemzüge pro Minute. Die Atemtiefe kann dabei sogar abnehmen.

Während ansteigender Belastung besteht zwischen dem Atemminutenvolumen und der Sauerstoffaufnahme eine nahezu lineare Beziehung, solange es sich um leichte bis mittelschwere Arbeit handelt. Unter schwerer Belastung ist diese Abhängigkeit nicht mehr zu finden, wobei das Atemminutenvolumen unproportional stärker als die Sauerstoffaufnahme ansteigt. Nach Arbeitsbeendigung fällt das Atemminutenvolumen sogleich ab. Der Ausgangswert wird dabei jedoch erst einige Zeit nach der Normalisierung der Sauerstoffaufnahme erreicht.

Die Pulsfrequenz steigt sofort mit Beginn der körperlichen Arbeit an. Nach 1-2 Minuten stellt sie sich, wenn es sich um leichte konstante Arbeit handelt, auf ein bestimmtes Niveau ein. Ist dagegen die Belastung zu groß gewählt, so erfolgt auch noch nach dem steilen Anfangsanstieg der Pulsfrequenz eine zwar langsamere aber beständige Zunahme derselben. Zwischen der Höhe der Pulszahl und einer zunehmenden Arbeitsintensität besteht im allgemeinen eine lineare Beziehung. Psychische Momente können zu Beginn der Arbeit eine überschießende Pulsreaktion bedingen, die sich jedoch im Lauf

der weiteren Arbeit wieder ausgleicht. Im Anschluß an eine Arbeitsbelastung fällt die Pulsfrequenz nicht linear, sondern geometrisch progressiv ab. Die Pulsfrequenz benötigt bis zum Erreichen der Ruhewerte eine längere Zeit als alle übrigen Funktionen, wobei diese Zeitspanne in Abhängigkeit von der vorangegangenen Arbeitsintensität und der Arbeitsdauer steht.

Das Verhalten des Blutdruckes wird in der Literatur nicht einheitlich beurteilt, wobei die Meinungsdivergenzen vor allem das Verhalten des diastolischen Blutdruckes betreffen. So gilt heute als gesichert, daß der systolische Blutdruck ebenso wie die Blutdruckamplitude linear mit der Arbeitsschwere ansteigt, während der diastolische Blutdruck bei Arbeit teils ansteigend, teils abfallend gefunden wurde.

Während körperlicher Arbeit nimmt das Herzminutenvolumen linear mit der Größe der Belastung zu. Es konnten maximale Werte von 37 l für das männliche Geschlecht bzw. 25 l bei arbeitenden Frauen gesehen werden. So hohe Herzminutenvolumina lassen sich jedoch nur für kurze Zeitspannen aufrecht erhalten.

Das Verhalten des Schlagvolumens steht ebenfalls in Abhängigkeit von der Arbeitsschwere. Man kann schon bei niedrigen Arbeitsstufen eine Vergrößerung desselben finden. Sein Maximum beträgt bis zum Dreifachen des Ruhewertes. Dieser Wert wird aber schon bei ca. $\frac{2}{3}$ der körperlichen Leistungsfähigkeit erreicht. Da sich nämlich das Herz jenseits dieser Grenze wegen des gleichzeitigen Pulsfrequenzanstiegs in der Diastole nicht genügend entfaltet, kann keine weitere Zunahme des Schlagvolumens mehr auftreten.

Die arterio-venöse Sauerstoffdifferenz ist abhängig vom Trainingszustand des Arbeitenden. Bei geringen Belastungen zeigen sich zwischen den Werten eines Trainierten und eines

Untrainierten noch keine Unterschiede der arterio-venösen Sauerstoffdifferenz. Die bessere Kapillarisation der Muskulatur eines Sportlers aber ermöglicht bei schweren Arbeiten eine größere Ausschöpfung des in der Lunge arterialisierten Blutes.

Um zu entscheiden, ob die Größe der Lungenventilation, das Diffusionsvermögen der Lunge für Sauerstoff, die Sauerstoffausschöpfung des venösen Mischblutes oder das maximale Herzminutenvolumen die Sauerstoffaufnahme und somit die körperliche Leistungsfähigkeit begrenzen, empfiehlt es sich in Anlehnung an HOLLMAN (8) folgende Unterscheidung zu treffen:

1. Die Größe der Lungenventilation: Bei einem Menschen, dessen Lungen gesund sind, spielt die Lungenventilation im Hinblick auf eine Leistungsbegrenzung keine Rolle. Das geht aus der Tatsache hervor, daß das Atemminutenvolumen selbst bei maximaler Belastung niemals die Höhe des Atemgrenzwertes erreicht. Es bestehen also auf jeden Fall noch gewisse Ventilationsreserven.

2. Das Diffusionsvermögen der Lunge für Sauerstoff: Hinsichtlich dem Diffusionsvermögen der Lunge für Sauerstoff konnte eine erhebliche Altersabhängigkeit ermittelt werden. So beginnt die Sauerstoffdiffusionskapazität im 3. Lebensjahrzehnt bereits abzunehmen und beträgt um das 50. Lebensjahr nur mehr zwei Drittel seiner ursprünglichen Größe. Das O_2 -Spannungsgefälle kann von 1 mm Hg bis zu 60 mm Hg ansteigen. Es ist vom Grad der Belastung abhängig. Bei 60 mm Hg Spannungsdifferenz können etwa 4,8 Liter Sauerstoff pro Minute in die Blutbahn hineindiffundieren. Um 4,8 Liter Sauerstoff zu transportieren wäre aber unter Ansetzung der größtmöglichen arterio-venösen Differenz ein Herzminutenvolumen von 40 Litern notwendig, während die Höchstwerte bei 25 bzw. 37 Litern liegen.

3. Der Sauerstoffgehalt des venösen Mischblutes: Neben einer

Umstellung von Atem- und Kreislauffunktionen kann auch das Stoffwechselgeschehen der Peripherie einen Einfluß auf die O_2 -Aufnahme gewinnen. So kann die O_2 -Ausschöpfung des venösen Mischblutes von durchschnittlich 30 % in Ruhe auf 60-70 % während schwerer körperlicher Arbeit ansteigen. Die Vaskularisierung der Muskulatur infolge Trainings, wie auch die Zahl und Größe der an der Arbeit teilnehmenden Muskeln sind hierfür maßgebend. Da somit nie eine vollständige O_2 -Ausschöpfung eintritt, wird die maximale O_2 -Aufnahme nicht durch die Größe der arterio-venösen Differenz, sondern durch die zum Transport des Sauerstoffs notwendige Blutmenge begrenzt.

4. Die Menge Blut, die pro Minute die Lungen durchläuft: Der absolut die Höchstgrenze für die O_2 -Aufnahme festsetzende Faktor ist das Herzminutenvolumen. Steht doch das Herz mit seiner jeweiligen Blutfüllung als Motor des Sauerstofftransportes zu den Erfolgsorganen einmalig da. Wenn man berücksichtigt, daß 1 Liter Blut 200 ccm O_2 aufnimmt, andererseits das venöse Blut noch zu etwa 40 % mit Sauerstoff gesättigt ist, so kann jeder Liter Blut immer nur rund 120 ccm wieder zur freien Verfügung stehenden Sauerstoff zu den arbeitenden Muskeln befördern. Das ergibt bei einem maximalen Herzminutenvolumen von 25 bzw. 37 Litern pro Minute eine Höchstmenge von 3000 - 4440 ccm Sauerstoff pro Minute.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, daß die Anpassung des Körpers an die Arbeit im wesentlichen über eine Umstellung des Herzminutenvolumens bei gleichzeitiger Änderung der arterio-venösen Sauerstoffdifferenz erfolgt. Aus diesem Grunde würde eine exakte Bestimmung der Anpassungserscheinungen des Organismus bei Arbeit die Messung von Schlagvolumen, Herzfrequenz und arterio-venöser Differenz voraussetzen.

Da dies aus technischen Gründen bisher praktisch nicht möglich ist, hat man dem Verhalten der Pulsfrequenz bei Arbeit in den letzten Jahren große Aufmerksamkeit geschenkt und auf diesem Wege versucht, Methoden zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit zu gewinnen. Solchen Versuchen liegt

die Erfahrung zugrunde, daß ein wenig leistungsfähiger Organismus auf die gleiche Leistung mit einer größeren Erhöhung der Pulsfrequenz reagiert als ein leistungsstarker. Aus diesem Grunde sollen einige im Kindesalter gebräuchlichen Proben zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit im Folgenden kurz dargestellt, und es soll auf Grund eigener Untersuchungen zu ihrem Wert Stellung genommen werden.

II. Indices zur Beurteilung der körperlichen Leistungs- fähigkeit nach Angaben in der Literatur. =====

Eine seit langem auch in der Pädiatrie in die Herz- Kreislauf-Diagnostik eingeführte Untersuchungsmethode ist der SCHELLONG-Test. Den ersten Teil desselben, der sich mit orthostatischer Belastung befaßt, wollen wir hier aus der Besprechung ausschließen. Uns interessieren ja Proben, die eine Beurteilung des arbeitenden Organismus ermöglichen. Der 2. Teil des SCHELLONG-Testes berücksichtigt das Verhalten von Pulsfrequenz und Blutdruck im Anschluß an eine Belastung. Dabei muß der Untersuchte eine Treppe von 25 Stufen zweimal herauf- und herunterlaufen und zwar "in einem Tempo, das er selbst als ziemlich schnell empfinden und das ihn einigermaßen anstrengen soll" (SCHELLONG und LÜDERITZ) (31). Bei Kreislaufgesunden darf unmittelbar im Anschluß an das Treppensteigen nur ein mäßig hoher Anstieg des systolischen Blutdruckes, ein geringfügiger Abfall des diastolischen, sowie eine Steigerung der Pulsfrequenz erfolgen. Diese drei Größen sollen im Verlauf der folgenden 2 Minuten in gerader Linie auf die Ausgangswerte zurückkehren.

Die Erläuterung über das "normale Verhalten" von Puls und Blutdruck wurde von SCHELLONG und LÜDERITZ an Hand von Einzelbeispielen gegeben. Sie sahen sich infolge der durch die Testanweisung bedingten unkontrollierbaren Leistungsunterschiede nicht in der Lage Normwerte, insbesondere für verschiedene Altersstufen, aufzustellen.

Ein ähnliches Verfahren stellt der ROTSCHUH-Test (27) dar. Ausgehend von der Überlegung, daß ein funktionstüchtiger Kreislauf die bei Arbeit notwendige Steigerung des Herzminutenvolumens wesentlich über eine Vergrößerung des Schlagvolumens erreicht, entwickelte ROTSCHUH einen Kreislauftest. Nach einer Belastung von 10 Kniebeugen werden Blutdruck und Pulsfrequenz registriert. Für einen funktionstüchtigen Kreislauf fordert der Verfasser, daß die prozentuale Steigerung der Blutdruck-

amplitude, als relatives Maß des Schlagvolumens, größer sein müsse als die der Pulsfrequenz. Abgesehen davon, daß Kniebeugen eine nicht reproduzierbare Belastungsform darstellen, erweist sich dieser Test in der Pädiatrie zur Kreislaufprüfung als völlig ungeeignet, da Kinder und Jugendliche bei Belastung erfahrungsgemäß weniger mit einer Blutdruckerhöhung als mit einer stärkeren Pulsfrequenzsteigerung reagieren. So fand RIEGER in Untersuchungen mit dem ROTSCHUH-Test an 28 Kindern im Alter von 9 und 12 Jahren und 28 Jugendlichen zwischen 13 und 19 Jahren nur bei 18% bzw. 32% die Forderung ROTSCHUH's erfüllt.

GALLAGHER und BROUHA (5) ließen ihre Untersuchungspersonen in einem Zeitraum von 4 Minuten einen Stuhl 120 mal besteigen. Die Stuhlhöhe wurde nach der Körperoberfläche des Probanden gewählt. Bis zu einer Körperoberfläche von 1,85 qm betrug sie 46 cm; bei Werten, die über 1,85 qm lagen, war der Stuhl einheitlich 51 cm hoch. Als Maß der Leistungsfähigkeit wird das Verhalten der Pulsfrequenz in der Erholungsphase benutzt und nach der Formel

$$\text{Fitness Index} = \frac{\text{Arbeitsdauer in Sekunden} \times 100}{2 \times \text{Summe der Pulsfr., ermittelt 1-1,5, 2-2,5 und 3-3,5 Min. nach Arbeitsende}}$$

ein dimensionsloser Index berechnet.

Dieses Verfahren läßt lediglich eine Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei Gleichaltrigen zu. Für den Vergleich unterschiedlicher Altersgruppen ist es jedoch nicht geeignet.

In der Modifikation von CULLUMBINE und Mitarbeitern (4) läßt sich der Fitness Index nach GALLAGHER und BROUHA noch am ehesten verwenden. Bei diesem sog. "work puls index" wird auch die effektive Leistung berücksichtigt. Er wird nach der Formel

$$w-p-i = \frac{\text{Arbeit in foot-lbs}}{2 \times \text{Summe der Pulsfr.}}, \text{ ermittelt 1-1,5, 2-2,5,} \\ \text{und 3-3,5 Minuten nach Arbeitsende}$$

ermittelt.

Im MASTER-Step-Test (19), einer vor allem in Amerika benutzten Untersuchungsmethode, finden Alter, Geschlecht und Körpergewicht des Untersuchten Berücksichtigung. Während dieses Testes gilt es innerhalb von 90 Sekunden zwei Treppenstufen mit einer Höhe von 32,8 cm nach dem Takt eines Metronoms zu betreten. Die Zahl der Treppenbesteigungen pro 90 Sekunden wird nach den oben angeführten Faktoren festgesetzt. Die Kreislaufgrößen sollen beim gesunden Kind innerhalb von 2 Minuten auf ihre Ruhewerte zurückkehren. Bei diesem Kreislauftest haben wir es mit einer definierten Belastungsform zu tun. Die geleistete Arbeit je Zeiteinheit läßt sich unter Einbeziehung von Stufenhöhe und Körpergewicht leicht berechnen.

Dagegen konnte aber GRASER (7) in seinen Untersuchungen nachweisen, daß dieser Test für die Prüfung körperlicher Leistungsfähigkeit an Kindern nicht geeignet ist. Er fand die verlangten Leistungen für Kinder zu klein und konnte beweisen, daß sich die Testergebnisse bei gleichen Untersuchungspersonen nicht reproduzieren lassen.

Die geschilderten Erfahrungen zeigen, daß eine Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit mit Hilfe undefinierter Belastungen praktisch nicht möglich ist. Aus diesem Grunde wurden in den letzten Jahrzehnten, vor allem aus dem Bereich der Arbeitsphysiologie, verschiedene Verfahren entwickelt, die eine Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit mit Hilfe von definierten Belastungen erlauben. Als definierte Belastungsform hat sich dabei vor allem die Arbeit am Fahrradergometer bewährt, da bei dieser Arbeitsart der O_2 -Mehr-Verbrauch nur von der Leistung und nicht von der Körpergröße und dem Körpergewicht abhängig ist (ROBINSON) (26), und da die meisten Pro-

banden auch im Kindesalter Rad fahren können.

Auf Grund dieser Überlegungen wurde von E.A. MÜLLER (21) ein sogenannter Leistungspulsindex entwickelt. Der Autor hatte in Versuchen festgestellt, daß zwischen der Leistung am Fahrradergometer und dem Sauerstoffverbrauch eine streng lineare Beziehung besteht. Der Korrelationskoeffizient betrug $r=0,99$ und der Wirkungsgrad wies nur geringe individuelle Schwankungen auf. Darum glaubte E.A. MÜLLER die umständlichen Respirationsversuche vermeiden und nicht die Abhängigkeit der Arbeitspulsfrequenz vom O_2 -Verbrauch, sondern von der unmittelbar bekannten Leistung bestimmen zu können. Das Verhältnis zwischen den beiden Größen sollte als Index der körperlichen Leistungsfähigkeit dienen. Der entwickelte Leistungspulsindex ist somit der Regressionskoeffizient zwischen Leistung und korrigierter Pulsfrequenz. Letztere stellt die Differenz zwischen "korrigierter Arbeitspulsfrequenz" und Ruhepulsfrequenz dar. Die "korrigierte Arbeitspulsfrequenz" ist ein hypothetischer Wert, der unmittelbar nach Beginn der Arbeit erreicht würde, wenn die Umstellung von Ruhepulsfrequenz auf Arbeitspulsfrequenz momentan stattfände. Der Leistungspulsindex gibt also an, um wieviel Schläge die "korrigierte Pulsfrequenz" je mkp/sec Leistungszuwachs ansteigt. Je niedriger der Wert, desto größer ist die körperliche Leistungsfähigkeit der Versuchsperson. Seine Berechnung erfolgt nach folgender Formel:

$$LPI = \frac{\sum (y - \bar{y}) \cdot \sum (x - \bar{x})}{\sum (x - \bar{x})^2}$$

y= Pulsdifferenzen

x= Belastungsstufen in
mkp/sec

Die notwendigen vielen Einzelfahrten mit jeweils größerer konstanter Belastung wurden später in einen Arbeitsversuch mit kontinuierlich steigender Belastung zusammengezogen. Als günstigste Tretgeschwindigkeiten wurden 45 - 60 Umdrehungen pro Minute gefunden.

Die oben beschriebene psychisch bedingte überschießende Pulsreaktion beim Übergang von Ruhe auf Arbeit sollte durch eine 2 Minuten dauernde Tretphase bei 0 mkp/sec abgefangen werden. Über den Mechanismus des von E.A. MÜLLER (22) konstruierten Fahrradergometers wird an späterer Stelle noch berichtet werden.

Im folgenden soll ein kurzer Überblick über die in der Literatur bekannten Untersuchungen, welche im Anschluß an den von E.A. MÜLLER entwickelten Leistungspulsindex durchgeführt worden sind, gegeben werden.

HEINEMANN (9) untersuchte eine Gruppe von 30 Kindern und Jugendlichen im Alter von 12 bis 16 Jahren auf dem von E.A. MÜLLER konstruierten Fahrradergometer. Die Belastung wurde mit 0 begonnen und in jeder Minute um 1 mkp/sec erhöht. Der auf diese Weise ermittelte Leistungspulsindex wies eine deutliche Beziehung zum Lebensalter der Probanden auf. Die 12 jährigen hatten im Mittel einen LPI von 7,0, während diesem ein Wert von 4,0 bei den 16 jährigen entsprach. Die Korrelation zwischen LPI und Alter betrug $-0,66 \pm 0,10$. Zwischen dem LPI und dem Körpergewicht konnte eine Korrelation von $-0,81 \pm 0,07$ gefunden werden.

NÖCKER und BÖHLAU (24) ermittelten bei 152 Personen zwischen 9 und 36 Jahren einen Leistungspulsindex. Sie verwendeten für ihre Untersuchungen ein wirbelstromgebremstes Fahrradergometer, das jedoch schon zu Beginn der Arbeit mit 2,5 mkp/sec belastet wurde. Im Abstand von 1 Minute wurde die Belastung dann um je ein mkp/sec erhöht. Der Leistungspulsindex wurde nach den Angaben von E.A. MÜLLER (22) aus dem Verhältnis zwischen Leistung und Arbeitspulsfrequenz berechnet.

Die Werte lagen beim weiblichen Geschlecht in allen Altersstufen über dem LPI der männlichen Probanden, was eine geringere Leistungsfähigkeit der weiblichen Individuen zu beweisen scheint. Während der LPI beim männlichen Geschlecht von

8,2 bei den 9 - 11 jährigen bis auf 3,6 bei den 20 jährigen absank, entsprach diesen Werten eine Abnahme des LPI von 9,4 auf 5,33 bei den gleichaltrigen weiblichen Untersuchungspersonen.

RUTENFRANZ und HETTLINGER (29) bestimmten in ihren Untersuchungen an 576 Schülern und Soldaten im Alter von 8 bis 25 Jahren und an 376 Mädchen zwischen 9 und 25 Jahren nach dem von E.A. MÜLLER angegebenen Verfahren den LPI. Der Belastungszuwachs betrug in jeder Minute 1 mkp/sec, bei einer Anfangsbelastung von 0 mkp/sec. Alle Jahrgänge wiesen einen linearen Pulsanstieg zur Höhe der Belastung auf, doch war die Steilheit der Pulsfrequenzzunahme nicht bei allen Altersstufen gleich groß. So beantworteten die 9 jährigen Jungen eine kontinuierliche Leistungszunahme von 1 mkp/sec mit einer durchschnittlichen Frequenzsteigerung von 6,39 Schlägen pro Minute. Dagegen zeigten die 14 jährigen Jungen einen durchschnittlichen Pulsanstieg von 4,02 Schlägen pro Minute für den gleichen Leistungszuwachs, während sich bei den 19 jährigen nur mehr eine in jeder Minute um 2,94 erhöhte Pulsfrequenz ermitteln ließ.

Ein deutlich voneinander unterschiedener Pulsfrequenzanstieg bei einem Leistungszuwachs von 1 mkp/sec in jeder Minute konnte bei den Mädchen nur zwischen den 9 und 14 jährigen gefunden werden. Die 9 jährigen erhöhten ihre Pulsfrequenz im Durchschnitt um 7,44, die 14 jährigen dagegen nur um 5,29 Schläge pro Minute. Ab dem 14. Lebensjahr hatten die Mädchen schon die Werte von weiblichen Erwachsenen erreicht. Bei den Jungen konnte auch jenseits des 14. Lebensjahres noch eine Abnahme der durchschnittlichen Pulsfrequenzsteigerung gesehen werden.

Signifikante Unterschiede zwischen den LPI-Werten beider Geschlechter wurden schon bei den 9 jährigen Kindern gefunden. In der Pubeszenz traten diese Differenzen noch deutlicher hervor. Während die Leistungsfähigkeit der Frauen vom 14. Lebensjahr ab nicht mehr wesentlich zunahm, wurde der LPI bei den männlichen Jugendlichen noch bis zum 20. Lebensjahr kleiner.

Der Geschlechtsunterschied wurde so im zunehmenden Alter immer deutlicher.

Bei einem Vergleich der LPI-Werte mit der Körperoberfläche der Versuchspersonen konnte eine lineare Beziehung zwischen beiden Größen gefunden werden. Am auffälligsten war dabei die Tatsache, daß die Leistungsfähigkeit der Jungen bei gleicher Körperoberfläche im Mittel größer war, als die der Mädchen.

Eine weitere, vor allem in Schweden gebräuchliche Methode zur Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit stellt die Bestimmung der "working capacity" nach WAHLUND (34) dar. Sie bezeichnet diejenige Leistung, die ein Mensch bei stufenweiser Belastungserhöhung bei einer Herzfrequenz von 170 Schlägen pro Minute ausführen kann. Der Grenzwert von 170 Herzschlägen pro Minute wurde festgesetzt, da hier nach Auffassung von WAHLUND bei Erwachsenen ein erschöpfendes Arbeitsstadium vorliegt. Ein wesentlicher Faktor liegt seiner Meinung darin, daß die Diastole bei diesen Pulswerten zu kurz wird, um ein ausreichendes Herzminutenvolumen zu garantieren. Mag auch die Sauerstoffversorgung der arbeitenden Muskeln noch für kurze Zeit aufrechterhalten werden, so kann doch die erforderliche Herzleistung auf die Dauer nicht eingehalten werden. Gleichzeitig konnte WAHLUND in seinen Versuchen nachweisen, daß die Pulsfrequenz, die im allgemeinen eine lineare Funktion der zunehmenden Belastung ist, jenseits der Grenze von 170 Schlägen pro Minute keine lineare Beziehung zur Arbeitsintensität mehr aufweist. Daneben konnte der Autor bei leistungsschwächeren Individuen einen steileren Pulsanstieg feststellen als bei den leistungsfähigen.

BENGTTSSON (3) übertrug den Kreislauftest von WAHLUND in die Pädiatrie. Er untersuchte insgesamt 76 gesunde Kinder und verglich seine Ergebnisse mit den bei Erwachsenen gefundenen Werten.

BENGTTSSON versteht unter "working capacity" diejenige Leistung

in mkp/min, die bei einer Pulsfrequenz von 170 erreicht wird, unter der Voraussetzung, daß die Versuchsperson noch in einem relativen "steady state" arbeitet. Ein solches "steady state" wurde dann angenommen, wenn die Differenz zwischen den registrierten Pulswerten bei einer bestimmten konstanten Leistung in der 4. und 6. Minute 8 Herzschläge pro Minute nicht überstieg. Gleichzeitig mußte das untersuchte Kind in der Lage sein, ausreichend mitzuarbeiten und durfte sich nicht überanstrengt fühlen.

Auch BENGTTSSON konnte eine lineare Abhängigkeit der Pulsfrequenz von der zunehmenden Belastung sehen. Dabei wiesen die einzelnen Altersstufen deutliche Unterschiede in den Pulsfrequenzen auf. So betrug die "working capacity" bei den 5 - 6 jährigen 234 mkp/min und 633 mkp/min bei den 13 - 14 jährigen Kindern, während von den 15 - 20 jährigen Jungen 1031 mkp/min bzw. 770 mkp/min von den gleichaltrigen Mädchen erreicht wurden. Diese Werte waren in einer ununterbrochenen Serie von Belastungen ermittelt worden, wobei die Leistung am Fahrradergometer alle 6 Minuten erhöht wurde. Nach den ersten 6 Minuten wurde die Belastung von 0 mkp/min auf 100 mkp/min heraufgesetzt. In der 12. und 18. Minute betrug die Belastung 150 bzw. 300 mkp/min. Die oben aufgeführten Werte der "working capacity" wurden durch Extrapolieren bzw. Intrapolieren rechnerisch ermittelt.

Da die Pulsfrequenz beim Übergang von Ruhe auf Arbeit zunächst stärker ansteigt, um sich dann zu einem bei jedem Menschen verschiedenen Zeitpunkt auf ein dem Grad der Belastung entsprechendes Niveau einzustellen, hielten KARRASCH und E.A. MÜLLER (10) anstatt der erreichten höchsten Pulsfrequenz die Summe der über dem Ruhewert liegenden Pulse während einer bestimmten Arbeitsperiode für einen besseren Maßstab der individuellen körperlichen Leistungsfähigkeit. Als Belastung wählten die Verfasser eine Arbeit von konstant 5 mkp/sec über einen Zeitabschnitt von 10 Minuten.

Ein zweiter Index wurde mit der "Erholungspulssumme" festgelegt. Dabei wurden die nach Beendigung der Arbeit noch über der Ruhepulsfrequenz liegenden Pulsschläge summiert. Die Erholungspulssumme hatte man gewählt, da die Zeit bis zum Erreichen der Ausgangswerte der Pulsfrequenz das Erholungsvermögen nicht ausreichend charakterisiert,

Die Pulssumme während der Arbeit und die Erholungspulssumme hatten KARRASCH und E.A. MÜLLER zu einer dritten Größe, der "Arbeitspulssumme" zusammengefaßt.

NÖCKER und BÖHLAU (24) ermittelten an einem Untersuchungsgut von ca. 250 gesunden Personen im Alter von 9 bis 35 Jahren diese drei Indices. Sie nannten die Summe der während der Arbeit vermehrten Pulsschläge "Arbeitspulssumme" und gaben der Gesamtheit aller durch die Belastung von 3000 mkp in 10 Minuten über dem Ruhewert mehr gezählten Pulsschläge die Bezeichnung "Gesamtpulssumme".

Bei einer Analyse der Ergebnisse zeigten die Mittelwerte der Gesamtpulssumme in den einzelnen Altersstufen eine signifikante Altersabhängigkeit. Für die gleiche Leistung von 3000 mkp in 10 Minuten wiesen die 9 - 11 jährigen Jungen einen Wert von 693 auf, während die 12 - 13 jährigen 544 Herzschläge mehr als in Ruhe benötigten. Die Gesamtpulssumme der 14 - 15 jährigen betrug 451 und war schließlich bei den 16 - 17 jährigen auf 362 abgesunken. Den niedrigsten Index zeigten die 18 - 20 jährigen mit einer Gesamtpulssumme von 313 Schlägen.

Die Gesamtpulssumme der Mädchen lag höher als die der Jungen. Hier wiesen die 9 - 11 jährigen einen Wert von 920 auf, während die 18 - 20 jährigen eine Gesamtpulssumme von 543 hatten.

Auch die Erholungspulssumme nahm mit zunehmendem Alter ab. Beim männlichen Geschlecht sank sie von 139 bei den 9 - 11 jährigen bis auf 34 bzw. 35 bei den 16 - 20 jährigen. Die Kurve für das weibliche Geschlecht verläuft ganz ähnlich, nur lagen deren Werte im Mittel über denen der männlichen Versuchspersonen.

Es ist mehrfach versucht worden, Aussagen über das Leistungsverhalten, welche man durch die Bestimmung der Pulsfrequenz

gemacht hat, mit Hilfe von Blutdruckmessungen zu ergänzen. So haben LEHMANN und MICHAELIS (16) auf Grund der Beobachtungen von LILJESTRAND und ZANDER (13), welche eine enge Korrelation zwischen dem Herzminutenvolumen und dem Amplitudenfrequenzprodukt fanden, vorgeschlagen, ein Grenzanplitudenfrequenzprodukt als Maß der Leistungsfähigkeit zu verwenden. Sie gingen dabei von der Annahme aus, daß ein gleiches Herzminutenvolumen von einer weniger leistungsfähigen Person bei einer niedrigeren Belastung erreicht wird, als bei besonders leistungsstarken.

In ihren Untersuchungen am Krogh¹ Fahrradergometer hatte sich nun gezeigt, daß das Amplitudenfrequenzprodukt bei kontinuierlich steigender Belastung zunächst nur allmählich zunimmt, dann aber zu einem verschieden liegenden Zeitpunkt verhältnismäßig rasch in die Höhe geht. Der festzusetzende Grenzwert, der als Index zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit dienen sollte, mußte also in dem steil ansteigenden Schenkel der Kurve gewählt werden, um eine exakte Messung zu ermöglichen. LEHMANN und MICHAELIS legten deshalb den Wert 10 000 fest, da bei Erreichen dieses Amplitudenfrequenzproduktes die obige Bedingung meist erfüllt wurde. Als Maßstab der körperlichen Leistungsfähigkeit wurde der Zeitpunkt und somit die Belastung in mkp/sec angesehen, zu der das Amplitudenfrequenzprodukt bei steigender Belastung den Wert 10 000 erreicht.

Die Testergebnisse von 4 Gruppen von insgesamt 70 Mädchen im Alter von 17 bis 18 Jahren wurden mit einer Rangordnung verglichen, in die die Sportlehrerinnen der Mädchen diese nach ihrer geschätzten körperlichen Leistung eingeordnet hatten. Danach konnte eine fast genaue Übereinstimmung der Reihenfolge gefunden werden. Die Rangkorrelationskoeffizienten der einzelnen Gruppen lagen zwischen 0,967 und 0,993.

Da bisher vergleichende Untersuchungen über den Wert der geschilderten Indices, welche man bei definierten Belastungen gewinnen kann, fehlten, haben wir solche Untersuchungen durchgeführt. Hierüber soll im Folgenden berichtet werden.

III. Eigene Untersuchungen

=====

1. Methodik

a) Untersuchungsgut

Unser Untersuchungsgut umfaßte insgesamt 103 Knaben und 103 Mädchen im Alter von 10 bis 18 Jahren. Die Probanden waren so ausgewählt, daß sie jeweils das 10., 12., 14., 16., bzw. 18. Lebensjahr vollendet hatten. Um bei unseren Kreislaufuntersuchungen auch im Hinblick auf die statistische Zuverlässigkeit genaue Ergebnisse zu erhalten und Vergleiche zwischen den verschiedenen Altersstufen ziehen zu können, hatten wir für jede Altersgruppe eine Mindestzahl von 20 Kindern festgesetzt.

Auf die Untersuchung der Zwischenjahrgänge glaubten wir auf Grund der Beobachtungen von RUTENFRANZ und HETTINGER (29) an einem größeren Untersuchungsgut verzichten zu können. Die Autoren hatten nämlich eine ganz allmähliche Zunahme der körperlichen Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Lebensalter festgestellt. Darum bieten auch die Untersuchungen an Altersgruppen im Abstand von 2 Jahren noch einen guten Einblick in die Entwicklung der physiologischen Funktionen im Kindes- und Jugendalter.

In Tabelle 1 sind die Zahlen der von uns untersuchten einzelnen Altersgruppen angegeben. Daneben haben wir gesondert vermerkt, wieviel der untersuchten Personen Schüler bzw. erwerbstätige Jugendliche waren. Wie aus der Tabelle zu ersehen ist, standen nur 23 % der Jungen und 3 % der Mädchen bereits im Berufsleben, während der überwiegende Teil noch eine Schule besuchte.

Die untersuchten Kinder und Jugendlichen stammten teils aus

Tabelle 1 Aufgliederung des Untersuchungsgutes nach
Alter, Geschlecht und Beruf.

KLASSEN	Gesamtzahl	Schüler	Erwerbstätige
10 Jahre	19	19	--
12 Jahre	20	20	--
14 Jahre	21	12	9
16 Jahre	22	12	10
18 Jahre	<u>21</u>	<u>17</u>	<u>4</u>
	103	80	23
MÄDCHEN			
10 Jahre	22	22	--
12 Jahre	20	20	--
14 Jahre	20	17	3
16 Jahre	21	21	--
18 Jahre	<u>20</u>	<u>20</u>	<u>--</u>
	103	100	3

Tabelle 3 +) Aufgliederung des Untersuchungsgutes
nach Reifestufen.

	K	KP	P	PR	R
Knaben	30 (11,2J.)	12 (13,2J.)	22 (15,1J.)	15 (16,1J.)	24 (17,4J.)
Mädchen	22 (10,6J.)	7 (12,6J.)	8 (13,6J.)	20 (15,9J.)	27 (17,4J.)

+) Bei den 103 Mädchen konnte aus technischen Gründen
nur an 84 eine Reifebestimmung vorgenommen werden.

dem Münchner Waisenhaus, dem ein Lehrlingsheim angeschlossen ist, teils aus Münchner Mittel- und Oberschulen. +)

Um möglichst auswahlfreie Stichproben in jeder Altersstufe für unsere Untersuchungen zu benutzen, wurden die Kinder und Jugendlichen lediglich nach ihrem Geburtsdatum ausgewählt. Sportliche oder sonstige Gesichtspunkte waren hierfür nicht maßgebend. Nur kränkliche Kinder wurden verständlicherweise von den Untersuchungen ausgeschlossen. Deshalb wurde jedes Kind vor den Untersuchungen klinisch untersucht. Daneben bestimmten wir bei jedem Probanden Körpergröße und Körpergewicht. (Letzteres in leichter Kleidung und ohne Schuhe).

In Tabelle 2 sind unsere durchschnittlichen Körpermaße denen von VOGT gegenübergestellt. Die Somatogramme für das 10. bis 19. Lebensjahr sind von VOGT (33) nach den Körpermaßdaten von insgesamt 55 615 Knaben und 39 389 Mädchen aus Bayern erstellt worden. Der Verfasser verwandte dazu Erhebungen aus Untersuchungen über die sportliche Leistungsfähigkeit und das Wachstum Jugendlicher von BACH (1).

Die Durchschnittswerte für die Körperlänge der Knaben lagen in allen Lebensaltern über den von VOGT angegebenen Normwerten. Bei den Mädchen lagen nur die Mittelwerte der jüngeren Jahrgänge über den Werten von VOGT. Die Durchschnittsgröße der 14 und 16 jährigen Mädchen stimmte mit den Vergleichszahlen gut überein, während unsere 18 jährigen etwas kleiner waren. Beim Vergleich unserer Größenwerte mit denen von VOGT konnten aber nur Differenzen von einigen cm gefunden werden, die in keinem Fall den von VOGT angegebenen Streubereich überschritten.

+) An dieser Stelle möchte ich der Frau Direktorin des Realgymnasiums am Anger, der Frau Direktorin der Mittelschule am Mariahilfplatz, sowie den Herren Direktoren des Wittelsbacher-Gymnasiums, der Ludwig-Oberrealschule und des Städt. Waisenhauses für ihr liebenswürdiges Entgegenkommen bei der Durchführung dieser Arbeit vielmals danken.

Tabelle 2

Vergleich von Körpermaßdaten unserer Kinder
und Jugendlichen mit Normwerten von BACH.

	Männlich		Weiblich	
Körperlänge:				
	Unsere Werte	nach BACH	Unsere Werte	nach BACH
10 J.	141,0 [±] 7,0 cm	137,5 [±] 6,0 cm	141,3 [±] 5,5 cm	137,0 [±] 5,5 cm
12 J.	149,3 [±] 8,9 cm	146,0 [±] 7,0 cm	151,8 [±] 4,9 cm	147,5 [±] 7,5 cm
14 J.	164,0 [±] 9,1 cm	157,0 [±] 9,0 cm	160,0 [±] 5,9 cm	157,5 [±] 7,0 cm
16 J.	175,3 [±] 8,8 cm	169,0 [±] 7,5 cm	162,6 [±] 3,5 cm	163,0 [±] 5,5 cm
18 J.	176,3 [±] 4,6 cm	175,0 [±] 6,5 cm	163,3 [±] 5,1 cm	165,0 [±] 5,5 cm
Körpergewicht:				
	Unsere Werte	nach BACH	Unsere Werte	nach BACH
10 J.	33,5 [±] 6,2 kg	30,8 [±] 4,1 kg	37,1 [±] 6,6 kg	30,0 [±] 4,4 kg
12 J.	41,7 [±] 6,1 kg	32,2 [±] 4,9 kg	45,7 [±] 7,9 kg	36,3 [±] 5,3 kg
14 J.	53,5 [±] 8,5 kg	44,4 [±] 7,5 kg	56,5 [±] 9,6 kg	46,7 [±] 6,9 kg
16 J.	63,7 [±] 7,5 kg	56,1 [±] 7,9 kg	60,5 [±] 8,7 kg	52,5 [±] 6,4 kg
18 J.	65,9 [±] 7,0 kg	65,0 [±] 7,7 kg	57,3 [±] 4,6 kg	56,0 [±] 6,2 kg

Hinsichtlich der Werte für das Körpergewicht konnte eine größere Abweichung von den von VOGT erstellten Somatogrammwerten gesehen werden. So wiesen unsere 10 jährigen Mädchen ein Durchschnittskörpergewicht von 37,1 kg mit einer Streuung von $\pm$ 6,6 kg auf, während VOGT 30,0 kg mit einer Standardabweichung von 4,4 kg als einen diesem Alter entsprechenden Wert gefunden hatte. Die gleichen Verhältnisse galten in etwa auch für die übrigen Mädchen mit Ausnahme der 18 jährigen, deren durchschnittliches Gewicht mit dem von VOGT angegebenen gut übereinstimmt.

Auch bei den Knaben zeigten sich zwischen den durchschnittlichen Körpergewichten unserer 12, 14 und 16 jährigen und den Normwerten von VOGT größere Differenzen. Dagegen fanden sich bei unseren jüngsten und ältesten Jungen relativ gut mit den Somatogrammgewichten übereinstimmende Durchschnittszahlen.

Die Unterschiede zwischen den Körpermaßdaten unserer Versuchspersonen und den von VOGT aufgestellten Normwerten lassen sich wohl dadurch erklären, daß unsere Kinder zum größten Teil Schüler waren und zumeist aus den besten sozialen Verhältnissen stammten. Daneben kann heute als gesichert gelten (VOGT (33), LENZ (17)), daß Großstadtkinder der sozialen Oberschicht besonders stark von der saekularen Akzeleration betroffen werden. Andererseits muß man berücksichtigen, daß die gesamte Bevölkerung der Bundesrepublik infolge der grossen wirtschaftlichen Blüte ein gewisses Übergewicht aufweist.

Da KIRCHHOFF (12, 13) in den letzten Jahren die Ansicht vertreten hat, daß man Jugendliche nicht in Alters- sondern Reifegruppen einteilen müsse, um ihrer körperlichen Entwicklung gerecht zu werden, haben wir unser Untersuchungsgut in Anlehnung an die Reifestufen von SCHMIDT-VOIGT (33) aufgegliedert. Die Stufenbezeichnungen sind mit K (= kindlich), KP (= erste Phase der Pubertät), P (= Höhepunkt der Pubertät), PR (= Übergang zur vollendeten Reife) und R (= reif) angegeben.

In Tabelle 3 haben wir die Anzahl für die einzelnen Entwicklungsstufen mit den entsprechenden Durchschnittsaltern aufgeführt. In Tabelle 3 erkennt man, daß sich im Verhältnis der beiden Geschlechter ein deutlicher Unterschied der Reifung zugunsten der Mädchen bemerkbar macht. Während die Pubertät bei unseren Mädchen bereits mit einem durchschnittlichen Alter von 12,6 Jahren einsetzte, zeigten die Buben erst mit 13,2 Jahren Zeichen der beginnenden Reifung. Dieses Verhältnis läßt sich auch daraus ablesen, daß bei den Mädchen ein größerer Prozentsatz bereits den höheren Reifestufen angehörte.

b) Meßanordnung.

Die Untersuchungen wurden auf dem Fahrradergometer von E.A. MÜLLER (22) durchgeführt. Es besteht aus einem in einen feststehenden Rahmen konstruierten Fahrrad, auf dessen hintere Felge eine ca. 10 cm breite Kupferscheibe montiert ist. Diese Scheibe rotiert zwischen zwei Permanentmagneten und wird durch die auftretenden Wirbelströme gebremst. Je tiefer die Kupferscheibe eintaucht, desto größer ist demnach die Bremswirkung. Der Magnethalter ruht mit einem frei beweglichen Bügel auf einer geeichten Kunststoffschablone. Mittels einer Drehkurbel ist es möglich über einen Zahnradmechanismus die Schablone so einzustellen, daß jede gewünschte Belastung zwischen 0 und 25 mkp/sec abgegriffen werden kann. Zur Kontrolle dient eine mit der Schablone verbundene Skala, an der die Belastungshöhe jederzeit abzulesen ist.

Wünscht man bei den Versuchen eine kontinuierliche Belastungszunahme, so wird dies durch eine besondere Anordnung ermöglicht. Durch Stellen eines Hebels wird an die zuvor geschilderte Kurbelvorrichtung ein Zahnrad angelegt, in dessen Zähne ein an der Hinterachse angebrachtes einstufiges Schraubengewinde eingreift. Bei jeder Umdrehung des Hinterrades wird so die Stellung der geeichten Schablone um einen bestimmten, immer gleich großen Grad verändert. Die Anordnung ist so gewählt, daß die Belastung in jeder Minute, bei einer Tretgeschwindigkeit von 60 Umdrehungen pro Minute um 1 mkp/sec zunimmt.

Die Tretgeschwindigkeit wird von einem elektrischen Synchronmotor geregelt, der einen Indikator (Radfahrerattrappe) im Uhrzeigersinn antreibt. Die Umdrehungsgeschwindigkeit des Motors beträgt 60 Umdrehungen pro Minute. Über eine Tachometerwelle, welche dieses System mit dem Tretlager des Fahrrades verbindet, wird beim Fahren auf den Indikator ein dem Uhrzeigersinn entgegengesetztes Drehmoment ausgeübt. Bei zu langsa-

mem Fahren weicht der Indikator im Uhrzeigersinn, bei zu großer Fahrgeschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung aus. Besteht zwischen der Tretgeschwindigkeit des Fahrrad-ergometers und der Umdrehungszahl des Schrittmachers keine Differenz so bleibt der Zeiger zwischen zwei Markierungsstrichen stehen.

Die von uns untersuchten Kinder konnten fast alle Fahrrad fahren, so daß es ihnen sehr rasch gelang die vorgeschriebene Tretgeschwindigkeit einzuhalten. Zudem hatten wir allen schon in einem Vorversuch Gelegenheit gegeben, sich mit dem Geschwindigkeitsregler vertraut zu machen. Die Kinder waren dann auch eifrig bestrebt, den kleinen Radfahrer zwischen den Markierungsstrichen zum Stehen zu bringen.

Die fortlaufende Pulszählung erfolgte mit dem von E.A. MÜLLER und HILDELMANN (23) konstruierten fotoelektrischen Pulszähler. Die Konstrukteure griffen eine Idee von MATTHES (20) auf, indem sie sich die Schwankungen der Blutfüllung des Ohr-läppchens bei jeder Herzaktion zunutze machten. Der Lichtstrahl eines auf einer Seite des Ohres befestigten Lämpchens wird bei jeder durch die Systole bedingten Mehrdurchblutung des Ohr-läppchens abgeschwächt und erzeugt auf einer Silicium-Fotozelle, die auf der anderen Ohr-läppchenseite anliegt, einen Impuls. Auf elektronischem Wege werden die auftretenden Impulse soweit verstärkt, daß sie ein Zählwerk betätigen. Ein Druck-zählwerk ist an den Verstärker angeschlossen. Der Zählerstand wird alle Minuten im Durchschreibverfahren mittels Kohlepa-pier auf einen fortlaufenden Papierstreifen gedruckt. Die Differenz zweier Druckwerte ergibt den jeweiligen Pulswert.

c) Versuchsanordnung

Die Untersuchungsfahrten wurden in jedem Institut in einem eigens zur Verfügung gestellten Raum durchgeführt. Die Räumlichkeiten lagen etwas abseits vom Schulbetrieb, so daß von daher unliebsame Störungen der Versuche ausgeschlossen werden konnten.

Unsere Versuche wurden an dem vorher eingehend beschriebenen Fahrradergometer vorgenommen. Die Tretgeschwindigkeit betrug in allen Versuchen 60 Umdrehungen pro Minute. Während des ganzen Versuchs wurde die Pulsfrequenz mit der oben beschriebenen Apparatur fortlaufend registriert.

Da unsere Versuche im Rahmen einer größeren Untersuchung durchgeführt wurden, beteiligte sich jedes Kind bzw. jeder Jugendliche an 5 Arbeitsversuchen. Um Ermüdungseffekte durch vorangehende Versuche auszuschließen, wurde jedoch großer Wert darauf gelegt, an einem Tag mit einer Versuchsperson nur einen Arbeitsversuch vorzunehmen.

Der Einzelversuch wurde so durchgeführt, daß der Proband zunächst 15 Minuten auf einem Stuhl ausruhen mußte und dann das Fahrradergometer bestieg. Nun wurde die Zählkammer an einem Ohr der Versuchsperson befestigt und die Lichtstärke des Lämpchens, sowie die Empfindlichkeit der Siliciumzelle einreguliert. Bei tadellosem Funktionieren wurde das Druckzählwerk angestellt und solange gewartet, bis sich die Pulsfrequenz auf einen konstanten Ruhewert eingestellt hatte. Beim Ausdrucken des letzten Ruhewertes forderten wir das Kind auf loszutreten.

Bei unseren Untersuchungen über den Leistungspulsindex ließen wir die Belastung von 0 mkp/sec in jeder Minute um 1 mkp/sec zunehmen. Die Endstufen wurden mit 6,8 bzw. 10 mkp/sec den einzelnen Altersstufen angepaßt. Diese Abstufung war erforderlich, da die Pulsfrequenz, wie oben beschrieben, nur in einem bestimmten Bereich linear ansteigt. "Der Endwert muß

so niedrig liegen, daß er auch von untrainierten schwächeren Personen erreicht werden kann. Er darf nicht so hoch liegen, daß er in den Bereich von Leistungen kommt, die einen größeren Ermüdungsanstieg verursachen" (MÜLLER). Zudem wäre z.B. für ein 10 jähriges Kind eine Belastungsendstufe von 10 mkp/sec schon im Hinblick auf seine muskulären Fähigkeiten fast eine Unmöglichkeit gewesen.

In unseren Untersuchungen zur Ermittlung der sog. "working capacity" teilten wir die von BENGTSSON (3) angegebene einzeitige Tour mit stufenweiser Belastung in drei Einzelfahrten mit jeweils konstanter Belastung auf. Auf eine individuelle Anpassung der Belastungsstufen, wie sie von BENGTSSON vorgenommen wurde, haben wir bewußt verzichtet. Eine leichte, eine mittlere und eine schwere Belastungsstufe war von uns mit einzelnen Versuchspersonen in Probefahrten für jede Altersgruppe ermittelt worden. Dabei hatten wir die in Tabelle 4 aufgeführten Werte festgelegt:

Tabelle 4

	Einf.Bel.		Mittl.Bel.		Schwere Bel.	
	männl.	weibl.	männl.	weibl.	männl.	weibl.
10 jährige	2,5	2,5	5,0	5,0	7,5	7,5
12 jährige	5,0	5,0	10,0	7,5	15,0	10,0
14 jährige	5,0	5,0	10,0	10,0	15,0	15,0
16 jährige	5,0	5,0	15,0	10,0	25,0	15,0
18 jährige	5,0	5,0	15,0	10,0	25,0	15,0

Die maximale Fahrtdauer betrug 10 Minuten. Erreichte eine Versuchsperson bei der schweren Belastung zuvor eine Pulsfrequenz von 170 Schlägen pro Minute, wurde der Versuch bei offensichtlicher Erschöpfung des Probanden abgebrochen. Ansonsten forderten wir ihn auf, wenn möglich die 10 Minuten durchzuhalten.

Bei den Arbeitsversuchen mit konstanter Belastung von 5 mkp/sec

über einen Zeitraum von 10 Minuten ermittelten wir die drei Indices: Arbeitspulssumme, Erholungspulssumme und Gesamtpulssumme nach NÖCKER und BÖHLAU (24). Dabei ließen wir die Versuchspersonen bis direkt zum Beginn der Belastung und unmittelbar danach auf einem bequemen Lehnstuhl neben dem Fahrradergometer Platz nehmen. Bei Ausdrücken des letzten Ruhewertes wurde das Kind aufgefordert überzustiegen und sofort loszutreten. Nach der 10. Fahrminute wurde der Sitz wieder gewechselt und die Pulsfrequenz nun solange registriert, bis sie zum Ruhewert zurückgekehrt war.

In den Versuchen zur Ermittlung des Amplitudenfrequenzproduktes wurde neben der Pulsfrequenz alle Minuten der Blutdruck gemessen. Den Blutdruck bestimmten wir am Ende jeder Minute mit Hilfe eines Quecksilber-Manometers nach RIVA-ROCCI (25) unter Verwendung der KOROTKOFF'schen (15) Kriterien. Die Manschettenbreite wurde dabei nach den Vorschlägen von KEUTH und PEUSQUENS (11) an den Oberarmumfang des Probanden angepaßt.

Die Blutdruckmessungen nahm bei allen Versuchen grundsätzlich derselbe Untersucher vor, um subjektive Fehlerquellen soweit als möglich auszuschließen. Störende Nebengeräusche wurden dadurch ausgeschaltet, daß wir bei jeder Messung den Arm der Versuchsperson kurz von der Lenkstange nahmen. Da die meisten untersuchten Kinder und Jugendlichen Rechtshänder waren und naturgemäß beim Einhändigfahren diesen Arm bevorzugten, wurden die Bestimmungen des Blutdruckes grundsätzlich am linken Oberarm durchgeführt. In diesen Versuchen nahm die Belastung automatisch von 0 mkp/sec in jeder Minute um 1 mkp/sec zu. Darin weicht unsere Versuchsanordnung von dem von LEHMANN und MICHAELIS (16) angegebenen Verfahren ab, da die Autoren die Grundbelastung nach dem Unterschenkelquerschnitt der Versuchsperson festlegten, während wir die Kinder und Jugendlichen aller Altersgruppen mit der gleichen Belastung beginnen und mit dem gleichen Belastungszuwachs arbeiten ließen.

Die Versuchspersonen hatten die Arbeit so lange auszuführen,

bis das Amplitudenfrequenzprodukt den Wert 10 000 erreichte. Um uns die Berechnung des Amplitudenfrequenzproduktes zu erleichtern, bedienten wir uns einer von LEHMANN und MICHAELIS (16) angegebenen graphischen Darstellung. Da wir jeweils nur Blutdruck und Pulswerte im Abstand von einer Minute gewinnen konnten, mußten wir den genauen Zeitpunkt zu dem das Amplitudenfrequenzprodukt den Wert 10 000 erreichte über eine Interpolation festlegen.

d) Angewandte statistische Methoden

Um unsere Ergebnisse auf die statistische Zuverlässigkeit zu prüfen, errechneten wir für jede Altersgruppen die arithmetischen Mittelwerte und deren Streuung mit Hilfe folgender Formeln:

$$AM = \frac{(\sum x)}{n} \quad (\sum x) = \text{Summe aller Einzelwerte } x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}} \quad \sum (x - \bar{x}) = \text{Summe aller Differenzen zwischen den Einzelwerten von } x \text{ und dem arithmetischen Mittel } \bar{x}$$

Die Berechnung von Maßkorrelationen erfolgte nach der Formel:

$$r = \frac{\sum [(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})]}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \cdot \sum (y - \bar{y})^2}}$$

Der Regressionskoeffizient b wurde bei Regressionen von y auf x nach der Formel

$$b = \frac{\sum [(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})]}{\sum (x - \bar{x})^2} \text{ berechnet.}$$

Die Rangkorrelation wurde nach der Formel

$$s = 1 - \frac{6 \cdot \sum (x-y)^2}{n \cdot (n^2-1)} \quad \text{berechnet.}$$

Zur Signifikanzprüfung der Mittelwerte bedienten wir uns der t-Funktion nach der Formel:

$$t = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

Aus den t-Werten wurden jeweils die prozentualen Wahrscheinlichkeiten errechnet, nach denen die gefundenen Unterschiede noch als zufallsbedingt gelten konnten. Entsprachen die Werte einer prozentualen Wahrscheinlichkeit $p < 0,1\%$, so wurde die gefundene Differenz als "sehr signifikant" angesehen. Bei Werten von $p = 0,1 - 1,0\%$ lag ein "signifikanter" Unterschied vor, während für Werte von $p = 2 - 5\%$ nur noch ein "wahrscheinlich signifikanter" Unterschied anzunehmen war. Als nicht voneinander unterschieden galten Werte, bei denen die prozentuale Wahrscheinlichkeit $p > 5\%$ betrug.

Um festzustellen, ob sich die gefundenen Korrelationskoeffizienten von einer mit 0 angenommenen Korrelation signifikant unterscheiden, wandten wir die t-Funktion in der Form

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \cdot \sqrt{n-2} \quad \text{an.}$$

Die verschiedenen Korrelationskoeffizienten wurden über die z-Transformation auf ihre Signifikanz geprüft. Die Korrelationsziffer z wurde dabei aus der Maßkorrelation r über die Beziehung

$$z = \text{Log. nat.} \sqrt{\frac{1+r}{1-r}} \quad \text{ermittelt.}$$

Bei der Prüfung von Korrelationsunterschieden über die z-Transformation bezeichnet die Signifikanz eines Unterschiedes entsprechend der Tafel nach KOLLER (14) eine prozentuale Zufallswahrscheinlichkeit von $< 0,27\%$.

2. Ergebnisse

a) Die Abhängigkeit des Leistungsverhaltens vom Lebensalter

Bevor die Ergebnisse der einzelnen Funktionsproben miteinander verglichen werden, empfiehlt es sich, die Abhängigkeit der körperlichen Leistungsfähigkeit vom Lebensalter kurz darzustellen, wie man sie auf Grund unserer Untersuchungen mit verschiedenen Methoden erheben kann. Hierzu haben wir in den Tabellen 5 mit 10 die arithmetischen Mittelwerte der von uns ermittelten Indices für jede Altersstufe mit den Standardabweichungen aufgeführt. Gleichzeitig wurde die Anzahl der von uns in jeder Gruppe untersuchten Personen vermerkt.

Abhängigkeit des Leistungspulsindex (LPI) vom Lebensalter.

Die Tabelle 5 gibt unsere Ergebnisse der bei kontinuierlich ansteigender Belastung gewonnenen Leistungspulsindices wieder. Wie aus dieser Tabelle zu ersehen ist, nahm der LPI bei beiden Geschlechtern mit zunehmendem Alter ab, die körperliche Leistungsfähigkeit also zu. So wiesen die 10 jährigen Buben einen Indexwert von 7,03, die 14 jährigen von 5,66 und die 18 jährigen Jugendlichen einen solchen von 3,21 auf.

Bei den Mädchen nahm der LPI von 8,00 im 10. Lebensjahr auf 4,80 im 14. Lebensjahr ab und blieb von da an bis zum 18. Lebensjahr mit 5,20 im Mittel praktisch gleich.

Um zu prüfen, ob diese Unterschiede außerhalb des Zufallsbereiches lagen, wandten wir die t-Funktion an. Dabei zeigte der LPI der 10 jährigen Buben einen "wahrscheinlich signifikanten" Unterschied zu dem der 12 jährigen. Deren Wert dagegen war vom LPI der 14 jährigen "nicht signifikant" unterschieden, während wir zwischen den Mittelwerten letzterer und dem der 16 jährigen Jugendlichen eine "signifikante" Differenz fanden. Zwischen dem

Tabelle 5

Veränderungen des Leistungspulsindex in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht
der Versuchspersonen.

(Prüfung der Mittelwertsunterschiede mit Hilfe der t-Funktion)

	10 Jahre			12 Jahre			14 Jahre			16 Jahre			18 Jahre			Diff. 10:18
	AM	♂	n	AM	♂	n	AM	♂	n	AM	♂	n	AM	♂	n	
♂	7,03	2,0	19	5,91	1,10	18	5,66	2,02	21	4,02	1,06	22	3,21	0,77	21	3,82 ^{xx}
Diff. ♂: ♀			(0,97) ^x			(0,42)			(0,86)			0,89 ^x			1,99 ^{xx}	
♀	8,00	1,13	22	6,33	1,57	20	4,80	1,42	20	4,91	1,11	21	5,20	2,13	20	2,80 ^{xx}

() = nicht signifikant
)^x = wahrscheinlich signifikant
x = signifikant
xx = sehr signifikant

Mittleren LPI der 16 jährigen und 18 jährigen Jungen fand sich ebenfalls ein "signifikanter" Unterschied.

Bei den Mädchen waren die Werte der 10 jährigen "sehr signifikant" größer als die der 12 jährigen. Die 12 und 14 jährigen zeigten eine "signifikante" Mittelwertsdifferenz. Zwischen den drei übrigen Mädchengruppen konnten keine "signifikanten" Differenzen gefunden werden.

Beim Vergleich der einzelnen Altersgruppen beider Geschlechter sahen wir nur bei den jüngsten und ältesten "signifikante" Differenzen, während insbesondere in der Präpubertät keine "signifikanten" Leistungsdifferenzen nachzuweisen waren, obschon die Mädchen etwa im 14. Lebensjahr bessere mittlere Leistungspulsindizes aufwiesen als die Jungen.

Die in unseren Untersuchungen gewonnenen Leistungspulsindizes für die verschiedenen Altersgruppen stimmen in großer Annäherung mit den entsprechenden Werten, welche von RUTENFRANZ und HETTINGER (29) ermittelt wurden, überein. Lediglich bei den jüngeren Jahrgängen konnten wir etwas höhere Mittelwerte finden.

Abhängigkeit der "working capacity" vom Lebensalter

In Tabelle 6 sind die von uns errechneten Mittelwerte der "working capacity" aufgezeigt. Die "working capacity" nahm mit zunehmendem Alter ständig zu. So betrug die "working capacity" im 10. Lebensjahr bei den Jungen 500 mkp/min, während die 14 jährigen eine Pulsfrequenz von 170 pro Minute im Mittel bei einer Belastung von 870 mkp/min, die 18 jährigen sogar erst bei einer Leistung von 1375 mkp/min erreichten.

Wie die Tabelle weiter zeigt hatten die 10 jährigen Mädchen mit 376 mkp/min ebenfalls eine deutlich geringere körperliche Leistungsfähigkeit als die 14 jährigen Mädchen, deren Wert 535 mkp/min betrug. Vom 14. bis zum 18. Lebensjahr änderte sich das Leistungs-

Tabelle 6

Veränderungen der "working capacity" in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht
der Versuchspersonen.
(Prüfung der Mittelwertsunterschiede mit Hilfe der t - Funktion)

	10 Jahre			Diff. 10:12	12 Jahre			Diff. 12:14	14 Jahre			Diff. 14:16	16 Jahre			Diff. 16:18	18 Jahre		Diff. 18:19	
	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂		n
♂	500	236	16	(169) ^x	669	149	17	(201) ^x	870	209	20	333 ^{xx}	1203	331	17	(172)	1375	327	20	875 ^{xx}
Diff. ♂:♀	(124)				171 ^x				335 ^x				528 ^{xx}				702 ^{xx}			
	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n	
♀	376	163	19	(122) ^x	498	94	13	(37)	535	135	5	(140) ^x	675	125	17	(3)	672	105	17	296

() = nicht signifikant
()^x = wahrscheinlich signifikant
x = signifikant
xx = sehr signifikant

verhalten der Mädchen nur noch unwesentlich, da im 18. Lebensjahr im Mittel nur eine "working capacity" von 672 mkg/min erreicht wurde. Vergleicht man die "working capacity" in gleichen Altersstufen bei beiden Geschlechtern, so war das Leistungsverhalten der Jungen in allen Altersgruppen im Mittel besser als bei den Mädchen.

Die von uns ermittelten Werte decken sich weitgehend mit den von HENGTSSON (3) erhobenen Befunden, der bei seinen 10 - 12 jährigen Buben und Mädchen eine mittlere "working capacity" von 468 mkg/min gefunden hatte. Auch die "working capacity" für die 13 - 14 jährigen beiderlei Geschlechts entsprechen etwa unseren Befunden. Die Werte von 1 135 mkg/min der 15 - 20 jährigen männlichen Jugendlichen und 770 mkg/min der gleichaltrigen weiblichen Jugendlichen lassen sich nur schwer mit unseren Ergebnissen vergleichen, da HENGTSSON in diesen Gruppen nur 5 bzw. 6 Untersuchungspersonen zur Verfügung standen.

Prüft man die von uns erhobenen Befunde auf ihre statistische Signifikanz, so ergibt sich, daß die Mittelwertsunterschiede bei den Buben zwischen den 10 und 12 bzw. 12 und 14 jährigen "wahrscheinlich signifikant" voneinander unterschieden waren. Der Unterschied zwischen dem 16. und 18. Lebensjahr erwies sich als "nicht signifikant".

Bei den Mädchen konnten die Mittelwertsdifferenzen zwischen den 10 und 12 jährigen bzw. 14 und 16 jährigen als "wahrscheinlich signifikant" gefunden werden. Zwischen den Altersgruppen der 12 und 14 jährigen bzw. 16 und 18 jährigen waren die Werte der "working capacity" "nicht signifikant" unterschieden.

Beim Vergleich Gleichaltriger des männlichen und weiblichen Geschlechts erwiesen sich die Buben im 12. und 14. Lebensjahr "signifikant" leistungsstärker als die Mädchen. Die 16 und 18 jährigen ließen sogar "sehr signifikante" Mittelwertsdifferenzen erkennen. Bei unseren jüngsten Versuchspersonen dagegen war die Leistungsfähigkeit "nicht signifikant" unterschieden.

Abhängigkeit der Arbeitspulssumme, der Erholungspulssumme
 - - - - -
 bzw. der Gesamtpulssumme vom Lebensalter.
 - - - - -

Bei unseren Untersuchungen über die drei von NÖCKER und BÖHLAU (24) eingeführten Indices (Arbeitspulssumme, Erholungspulssumme und Gesamtpulssumme) fanden wir für die jeweiligen Größen ähnliche Verhältnisse wie bei den vorhergehenden Methoden. Unsere Ergebnisse sind in den Tabellen 7 - 9 dargestellt. Mit zunehmendem Alter der Versuchspersonen besserte sich das Leistungsverhalten beständig. So betrug die Arbeitspulssumme bei den 10 jährigen Jungen im Mittel 569, bei den 14 jährigen 390 und war bei den 18 jährigen männlichen Jugendlichen auf durchschnittlich 267 abgesunken.

Die Mädchen bedurften für die gleiche Leistung von 300 mkp in 10 Minuten im 10. Lebensjahr um 602 Pulsschläge mehr als in Ruhe. Die 14 jährigen wiesen nurmehr eine Arbeitspulssumme von 415 auf, während die 18 jährigen für die Arbeitsleistung 380 Pulsschläge mehr benötigten.

Prüfte man die beobachteten Differenzen der mittleren Arbeitspulssummen über die t-Funktion, so wichen die Werte der 10 jährigen Buben "sehr signifikant" von denen der 12 jährigen ab, während zwischen den 12 und 14 jährigen "keine signifikanten" Mittelwertsdifferenzen gefunden wurden. Bei den älteren Jugendlichen sahen wir wieder "signifikante" Unterschiede zwischen der mittleren Arbeitspulssumme der 14 und 16 jährigen. Die beiden ältesten Jungengruppen wiesen eine "wahrscheinlich signifikante" Differenz auf.

Die Ergebnisse der Mädchen waren etwas anders. Hier konnte zwischen der durchschnittlichen Arbeitspulssumme der 10 jährigen Mädchen und dem Mittelwert der 12 jährigen Mädchen "kein signifikanter" Unterschied gefunden werden. Bei den 14 jährigen unterschied sich die Arbeitspulssumme "sehr signifikant" von dem Durchschnittswert des jüngeren Jahrgangs. Zu den Ergebnissen der 16 jährigen ließ sich ein "wahrscheinlich signifikanter" Unterschied ermitteln, während sich die 16 und 18 jährigen

Tabelle 7

Veränderungen der Arbeitspulssumme in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht
der Versuchspersonen.

(Prüfung der Mittelwertsunterschiede mit Hilfe der t-Funktion)

	10 Jahre			Diff. 10:12	12 Jahre			Diff. 12:14	14 Jahre			Diff. 14:16	16 Jahre			Diff. 16:18	18 Jahre		
	AM	$\bar{c}$	n		AM	$\bar{c}$	n		AM	$\bar{c}$	n		AM	$\bar{c}$	n		AM	$\bar{c}$	n
♂	569	88	18	144 ^{xx}	425	73	18	(35)	390	85	20	85 ^x	305	77	20	(38) ^x	267	50	20
Diff. ♂:♀	(33)				130 ^{xx}				(25)				(47) ^x				113 ^{xx}		
♀	602	66	20	(47)	555	108	20	140 ^{xx}	415	86	19	(63) ^x	352	84	20	(28)	380	79	20

() = nicht signifikant
()^x = wahrscheinlich signifikant
x = signifikant
xx = sehr signifikant

Mädchen in ihrer Leistungsfähigkeit "nicht signifikant" voneinander unterscheiden.

Der Vergleich beider Geschlechter zeigte in den Gruppen der 12 bzw. 18 jährigen "sehr signifikant" unterschiedene Mittelwerte der Arbeitspulssumme. Die kindlichen 10 jährigen und pubertierenden 14 jährigen wiesen "keine signifikante" Differenz auf, während wir zwischen den 16 jährigen "wahrscheinlich signifikant" differierende Werte sehen konnten.

Die Mittelwerte der Erholungspulssumme, in Tabelle 8 dargestellt, nahm bei den Jungen und Mädchen mit zunehmendem Alter ebenfalls ab. So benötigten die 10 jährigen Buben nach Beendigung einer Arbeitsleistung von 300 mkp in 10 Minuten noch 115 Pulse über dem Ruhewert bis zum Erreichen des Ausgangswertes. Die Erholungspulssumme betrug bei den 14 jährigen Jungen im Mittel 49 und nahm bei den 18 jährigen auf durchschnittlich 32 Pulsschläge ab.

Die Mädchen wiesen im 10. Lebensjahr eine Erholungspulssumme von 240, im 14. Lebensjahr eine solche von 83 auf. Bis zum 18. Lebensjahr besserte sich das "Erholungsvermögen" der Mädchen nicht mehr, da diese Gruppe eine Erholungspulssumme von im Mittel 80 benötigte.

Bei Prüfung der erhobenen Befunde über die t-Funktion fanden wir bei den Jungen "benachbarte" Mittelwertsdifferenzen "nicht signifikant" voneinander unterschieden.

In der Reihe der absinkenden Erholungspulssummen der von uns untersuchten Mädchen unterschieden sich nur die Werte der 12 und 14 jährigen "signifikant" voneinander, während die übrigen Differenzen "nicht signifikant" waren.

Die Erholungspulssumme der Jungen und Mädchen wich untereinander bei den 10 jährigen "signifikant", bei den 12 jährigen "sehr signifikant" und bei den 18 jährigen "wahrscheinlich signifikant" voneinander ab. Zwischen den 14 und 16 jährigen beiderlei Geschlechts ließen sich "keine signifikanten" Unterschiede nachweisen.

Tabelle 8

Veränderungen der Erholungspulssumme in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht
der Versuchspersonen.
(Prüfung der Mittelwertsunterschiede mit Hilfe der t-Funktion)

	10 Jahre			Diff. 10:12	12 Jahre			Diff. 12:14	14 Jahre			Diff. 14:16	16 Jahre			Diff. 16:18	18 Jahre		
	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n
♂	115	79	18	(38)	77	56	18	(28)	49	40	20	(11)	38	23	20	(6)	32	25	20
Diff. ♂:♀	125 ^x				113 ^{xx}				(34)				(34)				(48) ^x		
♀	240	141	20	(50)	190	112	20	107 ^x	83	68	19	(11)	72	84	20	(8)	80	83	20

() = nicht signifikant
()^x = wahrscheinlich signifikant

x = signifikant

xx = sehr signifikant

In der Gesamtpulssumme (siehe Tabelle 9) sind die Arbeitspulssumme und die Erholungspulssumme zu einem weiteren Index zusammengezogen. Auch hier ließ sich bei Jungen und Mädchen ein kontinuierlicher Abfall der mittleren Werte feststellen. So entsprach der Gesamtpulssumme von 689 der 10 jährigen Jungen ein Wert von 299 bei den 18 jährigen. Die Buben im 14. Lebensjahr wiesen eine mittlere Gesamtpulssumme von 442 auf.

Die Indexwerte der Mädchen lagen in allen Altersgruppen über denen der Buben. Während die 10 jährigen eine Gesamtpulssumme von 840 zeigten, benötigten die 14 jährigen nurmehr eine Gesamtpulssumme von 497 für die gleiche Arbeitsleistung. Bis zum 18. Lebensjahr nahm die Gesamtpulssumme mit einem Mittelwert von 465 praktisch nicht mehr ab. Die Prüfung über die t-Funktion ergab bei den Jungen zwischen den beiden Gruppen der Jüngsten einen "sehr signifikanten" Unterschied. Die Mittelwertsdifferenz zwischen den 12 und 14 jährigen war "nicht signifikant", während wir zwischen den Gesamtpulssummen im 14. und 16. Lebensjahr einen "signifikanten" Unterschied fanden. Die Mittelwerte der beiden ältesten männlichen Jugendlichengruppen unterschieden sich wiederum "wahrscheinlich signifikant" voneinander.

Die Gesamtpulssumme der Mädchen erwies sich nur zwischen den 12 und 14 jährigen "sehr signifikant" voneinander abweichend. Die übrigen Mittelwertsdifferenzen waren "nicht signifikant". Wie aus Tabelle 9 zu ersehen ist, waren die Werte der Gesamtpulssumme sehr stark vom Geschlecht der Versuchspersonen bestimmt. So erwiesen sich die Mittelwerte der 10 und 12 jährigen Kinder, sowie der 16 jährigen Jugendlichen geschlechtsabhängig "signifikant" unterschieden. Zwischen den 18 jährigen männlichen und weiblichen Jugendlichen bestand sogar eine "sehr signifikante" Differenz in den Gesamtpulssummen. Nur im 14. Lebensjahr verzeichneten die Gruppen beider Geschlechter keine "signifikanten" Unterschiede.

Vergleicht man die altersabhängige Veränderung der Gesamtpulssumme mit den entsprechenden Änderungen der beiden Einzelfaktoren "Arbeitspulssumme" und "Erholungspulssumme" so zeigt sich, daß die Bestimmung der Gesamtpulssumme einen genaueren Einblick

Tabelle 2

Veränderungen der Gesamtpulssumme in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht
der Versuchspersonen.

(Prüfung der Mittelwerteunterschiede mit Hilfe der t-Funktion)

	10 Jahre			Diff. 10:12	12 Jahre			Diff. 12:14	14 Jahre			Diff. 14:16	16 Jahre			Diff. 16:18	18 Jahre			
	AM	$\bar{c}$	n		AM	$\bar{c}$	n		AM	$\bar{c}$	n		AM	$\bar{c}$	n		AM	$\bar{c}$	n	
♂	689	146	18	178 ^{xx}	511	117	18	(69)	442	113	20	(94) ^x	348	81	20	(49) ^x	299	62	20	
Diff. ♂:♀	151 ^x				234 ^x				(55)				82 ^x				166 ^{xx}			
♀	840	184	20	(95)	745	302	20	248 ^{xx}	497	130	19	(67)	430	142	20	(35)	465	153	20	

() = nicht signifikant
 ()^x = wahrscheinlich signifikant
 x = signifikant
 xx = sehr signifikant

in die altersspezifische Leistungsfähigkeit der Kinder ermöglicht, als die Verwendung der Einzelgrößen, was insbesondere für die Erholungspulssumme gilt. Somit kommt der Gesamtpulssumme ein größerer Aussagewert zu als der alleinigen Bestimmung der Erholungspulssumme oder der Arbeitspulssumme. Aus diesem Grunde soll später die Gesamtpulssumme im wesentlichen in die vergleichende Betrachtung miteinbezogen werden.

Die von uns erhobenen Befunde der Gesamtpulssumme stimmen mit den von NÖCKER und BÖHLAU (24) ermittelten Werten gut überein. Die Autoren hatten bei ihren 9 - 11 jährigen Jungen und Mädchen im Mittel eine Gesamtpulssumme von 693 bzw. 920 gefunden. Die Werte besserten sich bis zum 18. Lebensjahr auf 313 bzw. 543. Eine große Abweichung von unseren Befunden ergab sich lediglich bei der Gruppe der 12 jährigen Mädchen, bei denen NÖCKER und BÖHLAU eine durchschnittliche Gesamtpulssumme von 425 gegenüber einem von uns ermittelten Durchschnittswert von 745 gefunden hatten.

Abhängigkeit des Amplitudenfrequenzproduktes vom Lebensalter

In Tabelle 10 sind unsere Ergebnisse des Amplitudenfrequenzproduktes wiedergegeben. Wie oben beschrieben, handelt es sich bei unseren Werten nicht um den durch das Amplitudenfrequenzprodukt von 10 000 bestimmten Zeitpunkt, sondern um die Höhe der zu dieser Zeit von der Versuchsperson geforderten Belastung. Die Werte sind durch interpolieren gewonnen worden.

Die Jungen erreichten bei dem Grenzamplitudenfrequenzprodukt von 10 000 im 10. Lebensjahr 3,9 mkp/sec, im 14. Lebensjahr 6,7 mkp/sec und im 18. Lebensjahr 9,5 mkp/sec.

Bei den Mädchen nahm die Leistung von 2,9 mkp/sec der 10 jährigen bis 5,3 mkp/sec der 14 jährigen zu und verbesserte sich von da an bis zum 18. Lebensjahr auf 6,5 mkp/sec.

Die Tabelle läßt also erkennen, daß die Belastung in mkp/sec

Tabelle 10

Veränderungen des Grenzamplitudenfrequenzproduktes vom Wert 10 000 in Abhängigkeit

von Alter und Geschlecht der Versuchspersonen.

(Prüfung der Mittelwertsunterschiede mit Hilfe der t-Funktion.)

	10 Jahre			Diff. 10:12	12 Jahre			Diff. 12:14	14 Jahre			Diff. 14:16	16 Jahre			Diff. 16:18	18 Jahre			Diff. 10:18
	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n	
♂	3,9	1,7	18	(1,2) ^x	5,1	1,8	20	(1,5) ^x	6,7	2,2	20	(0,32)	7,0	2,8	18	2,46 ^{xx}	9,5	1,7	19	5,6 ^{xx}
Diff. ♂:♀	(1,0)				1,5 ^x				(1,4) ^x				(0,8)				3,0 ^{xx}			
	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n	
♀	2,9	1,4	21	(0,66)	3,6	1,2	20	1,7 ^{xx}	5,3	1,6	19	(0,9)	6,2	2,5	20	0,3)	6,5	1,6	20	3,6 ^{xx}

() = nicht signifikant

()^x = wahrscheinlich signifikant

x = signifikant

xx = sehr signifikant

umso größer war, je älter die Kinder bzw. Jugendlichen waren. Dabei lagen die Leistungen der Mädchen in allen Altersgruppen unter denen der Buben. Als wir die "benachbarten" Mittelwerte über die t-Funktion prüften, fanden wir bei den Jungen zwischen den Werten der 10 und 12 jährigen bzw. 12 und 14 jährigen einen "wahrscheinlich signifikanten" Unterschied. Die Ergebnisse der Altersgruppen von 14 und 16 jährigen waren "nicht signifikant" unterschieden, während sich zwischen den Werten der 16 und 18 jährigen männlichen Jugendlichen eine "signifikante" Differenz feststellen ließ.

Bei den Mädchen konnten wir abgesehen von den Mittelwerten der 12 und 14 jährigen, zwischen welchen sich ein "sehr signifikanter" Unterschied ermitteln ließ, "keine signifikanten" Differenzen bestimmen.

Die Differenz zwischen den einzelnen Altersgruppen beider Geschlechter erwiesen sich bei den 10 und 16 jährigen als "nicht signifikant". Im 12. Lebensjahr waren die Geschlechtsunterschiede "signifikant", im 14. Lebensjahr "wahrscheinlich signifikant" und bei den 18 jährigen "sehr signifikant".

b) Beziehung zwischen verschiedenen Methoden zur Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, daß sich mit Hilfe der von uns angewandten Indices eine quantitative Abstufung des Leistungsverhaltens von Kindern und Jugendlichen durchführen läßt. So wiesen alle Indices signifikante Änderungen mit zunehmendem Lebensalter auf und zeigten spätestens von der Pubertät an deutliche Geschlechtsunterschiede. Nun bestand aber das eigentliche Anliegen unserer Arbeit darin, die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungsmethoden miteinander zu vergleichen. Aus diesem Grund soll im Folgenden zunächst die Beziehung einiger wichtiger Indices zueinander graphisch dargestellt und besprochen werden, wobei in einem weiteren Abschnitt auf die korrelative Abhängigkeit der einzelnen Indices voneinander eingegangen wird.

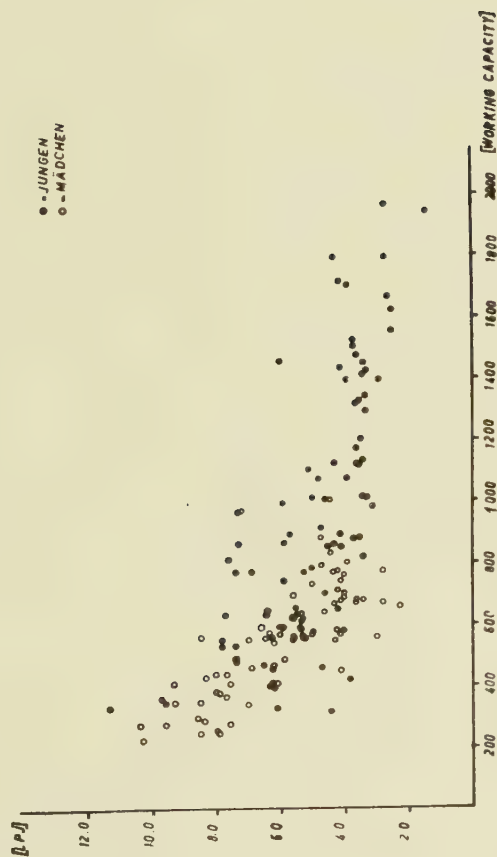
In der Abbildung 1 haben wir unsere Werte des Leistungspulsindex mit denen der "working capacity" verglichen. Das Diagramm trägt auf der Abszisse die Einteilung mkp/min, auf der Ordinate ist der Regressionskoeffizient zwischen Leistung und Arbeitspulsfrequenz (Leistungspulsindex) aufgetragen.

Bei Betrachtung der Abbildung fällt auf, daß zwischen den beiden Indices eine relativ enge Beziehung besteht. Die Abhängigkeit ist dabei keine streng lineare, sondern entspricht eher einem Trend II. Grades. Trotzdem gilt im Mittel, daß die LPI-Werte umso größer waren, je niedriger die Belastung war, bei der eine Pulsfrequenz von 170 erreicht wurde ("working capacity").

Bemerkenswert erscheint aber, daß sich mit Hilfe der "working capacity" bei besonders leistungsfähigen Kindern und Jugendlichen eine bessere Differenzierung des Leistungsverhaltens durchführen läßt, als mit der Bestimmung des Leistungspulsindex. Denn die Streuung der "working capacity" nimmt bei den LPI-Werten von weniger als 4,0 ganz beträchtlich zu, so daß hier bei annähernd gleichen Leistungspulsindices Werte der "working capacity" zwischen 600 und 2 000 mkp/min ermittelt wurden. Bei größeren Leistungspulsindices, also im Bereich geringerer Leistungsfähigkeit,

Abbildung 1

Beziehung zwischen den Werten des Leistungspulsindex
und der "working capacity"

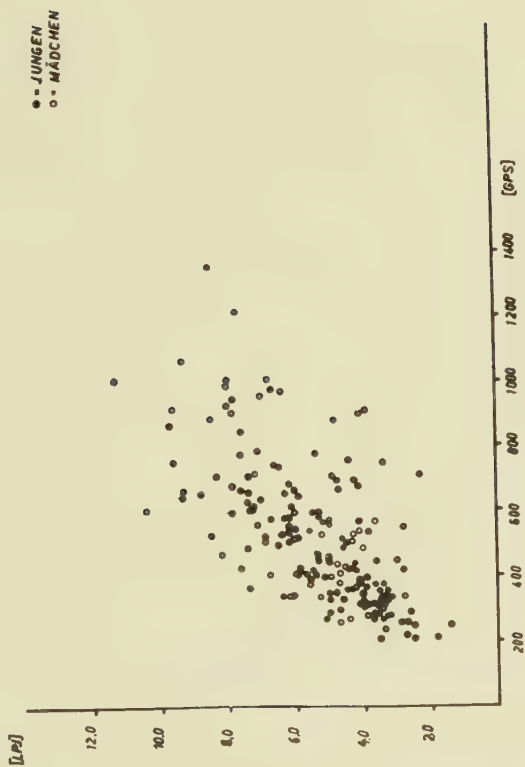


war dagegen die Streuung der "working capacity"-Werte für gleiche Leistungspulsindices deutlich geringer. Aus diesem Grunde dürfte es sich empfehlen, bei Kindern mit niedrigen LPI-Werten auch das Verhalten der "working capacity" zu ermitteln, falls noch eine genauere Abstufung des Leistungsverhaltens für notwendig erachtet wird.

In der Abbildung 2 haben wir den ermittelten LPI-Werten als nächsten Index der Leistungsfähigkeit die Werte der Gesamtpulssumme während und nach einer 10 minütigen Arbeit mit einer Belastung von 5 mkp/sec gegenübergestellt. Die Abbildung läßt dabei im Mittel deutlich eine lineare Beziehung zwischen den Veränderungen der Pulsfrequenz während konstanter und kontinuierlich steigender Belastung erkennen, wobei die Streuung der Werte die übliche elliptische Anordnung solcher Abhängigkeiten zeigt. In unseren Versuchen hatten also Kinder mit kleinen LPI-Werten im Mittel auch kleine Gesamtpulssummen und umgekehrt, doch waren die Aussagen über das Leistungsverhalten des einzelnen Kindes durchaus nicht immer identisch. Trotzdem war die Beziehung zwischen den ermittelten Leistungspulsindices und den Werten der Gesamtpulssumme so eng, daß beide Verfahren im Mittel keine grundsätzlich anderen Aussagen über das Leistungsverhalten von Kindern und Jugendlichen zulassen. Dies bedeutet praktisch, daß man auf die sehr aufwendige Bestimmung der Gesamtpulssumme verzichten kann, wenn der Leistungspulsindex eines Kindes bekannt ist.

In Abbildung 3 sind die Ergebnisse unserer Bestimmungen des Leistungspulsindex und des Amplitudenfrequenzproduktes wiedergegeben. Auch hier läßt sich zwischen den beiden Indices eine relativ enge Beziehung feststellen. Je niedriger der Leistungspulsindex war, desto größer war die Leistung bei der ein Grenzamplitudenfrequenzprodukt von 10 000 erreicht wurde. Gleichzeitig aber läßt das Diagramm erkennen, daß eine große Zahl von Versuchspersonen mit niedrigen Leistungspulsindices, also guter Leistungsfähigkeit, bei den Versuchen mit dem Amplitudenfrequenzprodukt recht unterschiedliche Ergebnisse in ihrem Leistungsverhalten aufwiesen. So hatten Kinder mit einem Leistungspulsindex

Abbildung 2 : Beziehung zwischen den Werten des Leistungspulsindex und
der Gesamtпульssumme



unter 4,0 ein Amplitudenfrequenzprodukt von 10 000 zum Teil schon bei Belastungen von 2 - 3 mkp/sec, während andere mit dem gleichen LPI-Wert diese Grenze erst bei Leistungen von 10 - 12 mkp/sec erreichten.

Diese Verhältnisse dürften darauf zurückzuführen sein, daß Kinder und Jugendliche bei Arbeitsbeginn zunächst überschießend auf die gestellten Anforderungen reagieren, wobei auch psychische Momente, wie die erhöhte psychische Anspannung bei Arbeitsbeginn von Bedeutung sind. Wie BARTENWERPER (2), GILLEPSIE (6), RUTENFRANZ (28), sowie RUTENFRANZ und Mitarbeiter (30) gezeigt haben, verursacht schon psychische Anspannung eine Steigerung der Pulsfrequenz und einen Anstieg des systolischen Blutdruckes. Aus diesem Grund werden vor allem vegetativ labile Kinder und Jugendliche sehr bald nach Arbeitsanfang ein Amplitudenfrequenzprodukt von 10 000 erreichen, obschon damit durchaus nicht ein echter Grenzwert des Leistungsverhaltens erreicht wurde. Dies kann dadurch bewiesen werden, daß bei solchen Kindern, wenn man sie bei größeren Belastungen weiterhin arbeiten läßt, das Amplitudenfrequenzprodukt wieder absinkt, um erst dann wieder weiter anzusteigen und sich erneut dem Grenzwert 10 000 zu nähern.

Somit können niedrige Amplitudenfrequenzprodukte bei Kindern und Jugendlichen, die einen niedrigen Leistungspulsindex, also eine gute Leistungsfähigkeit haben, nur aussagen, daß diese Kinder eine besonders überschießende psychosomatische Reaktion auf den Arbeitsbeginn haben. Wollte man solche Kinder aber nur nach dem Ergebnis der Bestimmung des Grenzamplitudenfrequenzproduktes hinsichtlich ihrer körperlichen Leistungsfähigkeit beurteilen, so müßte dies zu großen Fehlbeurteilungen führen.

Eine praktisch gleiche Verteilung der Werte fanden wir beim Vergleich der mit Hilfe des Grenzamplitudenfrequenzproduktes von 10 000 gewonnenen Ergebnisse mit den Werten der Gesamtpulssumme. Die Beziehung zwischen den beiden Indices ist in Abbildung 4 graphisch dargestellt. Hier wiesen etwa Kinder und Jugendliche mit relativ niedrigen Gesamtpulssummen von weniger als 400, also von großer Leistungsfähigkeit, recht unterschiedliche

Abbildung 3 : Beziehung zwischen den Werten des Leistungspulsindex und
des Amplitudenfrequenzproduktes

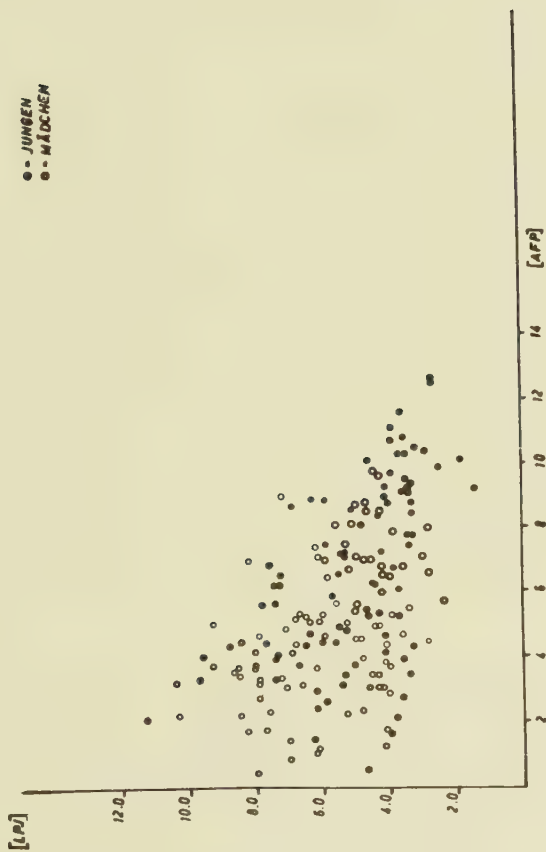
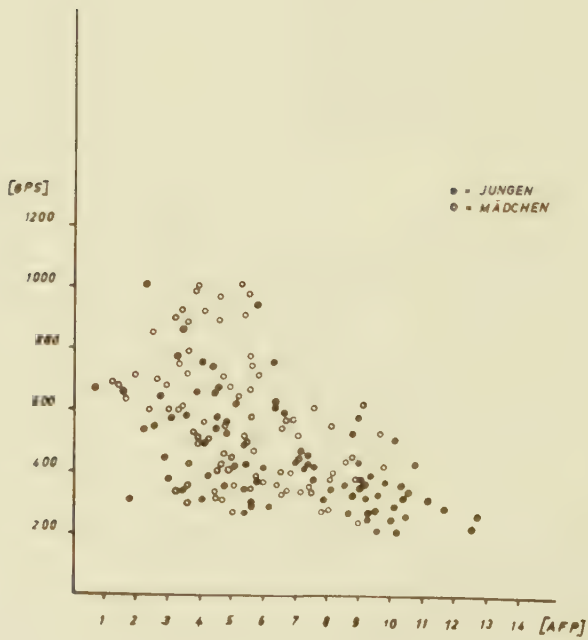


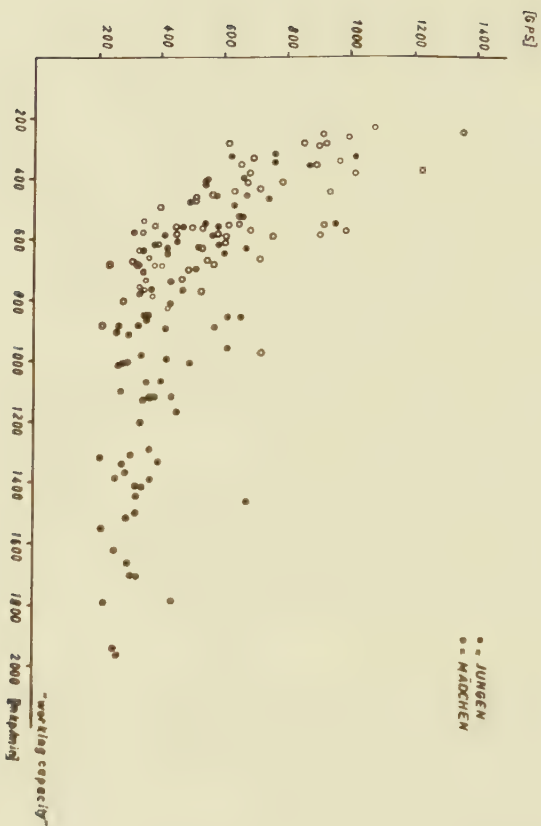
Abbildung 4 : Beziehung zwischen den Werten des Amplituden-
frequenzproduktes und der Gesamtpulssumme



Amplitudenfrequenzprodukt-Werte auf. So erreichten manche Kinder und Jugendlichen mit niedrigen Gesamtpulssummen schon bei Belastungen von 2 - 3 mkp/sec das Grenzamplitudenfrequenzprodukt von 10 000, während andere Versuchspersonen dagegen bis zum Erreichen dieses Grenzwertes Arbeiten von 10 - 12 mkp/sec ausführen konnten. Wenn beide Leistungsprüfungen den gleichen Aussagewert hätten, so wäre zu erwarten gewesen, daß Personen mit hohen Gesamtpulssummen niedrige Amplitudenfrequenzprodukte aufweisen würden. Diese Erwartung traf zwar, wie die Abbildung 4 zeigt, für einen großen Teil unseres Untersuchungsgutes zu, doch wichen etwa 30 Personen von diesem mutmaßlichen Verhältnis ab, da ihre Leistungsfähigkeit auf Grund des Amplitudenfrequenzproduktes zu schlecht eingestuft wurde. Dieser Befund deckt sich so auffällig mit der vorher beschriebenen Beziehung zwischen der Beurteilung der Leistungsfähigkeit mit Hilfe des Leistungspulsindex und des Amplitudenfrequenzproduktes, daß die Abbildungen 3 und 4 fast identisch erscheinen. Man wird darum wohl annehmen müssen, daß bei der Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit mit Hilfe des Amplitudenfrequenzproduktes alle diejenigen Personen bei an sich guter Leistungsfähigkeit zu schlecht eingestuft werden, welche bei Arbeitsbeginn infolge der erhöhten psychischen Anspannung eine überschießende Kreislaufreaktion zeigen. Diese besondere Kreislaufabilität kann aber nicht als begrenzender Faktor der körperlichen Leistungsfähigkeit angesehen werden, sondern ist lediglich ein Symptom der vegetativen Konstitution des Einzelnen.

Vergleicht man schließlich die Werte der Gesamtpulssumme mit den Werten der "working capacity", so ergibt sich die in Abbildung 5 dargestellte Beziehung. Auch hier fällt die große Ähnlichkeit der Leistungsbeurteilung durch den Leistungspulsindex und die Bestimmung der Gesamtpulssumme auf, wenn man die Abbildungen 1 und 5 miteinander vergleicht. Entsprechend dem Verhältnis zwischen Leistungspulsindex und "working capacity" war auch die Beziehung zwischen Gesamtpulssumme und "working capacity" nicht linear, sondern folgte einem Trend II. Grades. Dies wirkte sich dahingehend aus, daß bis zu einer Gesamtpulssumme von etwa

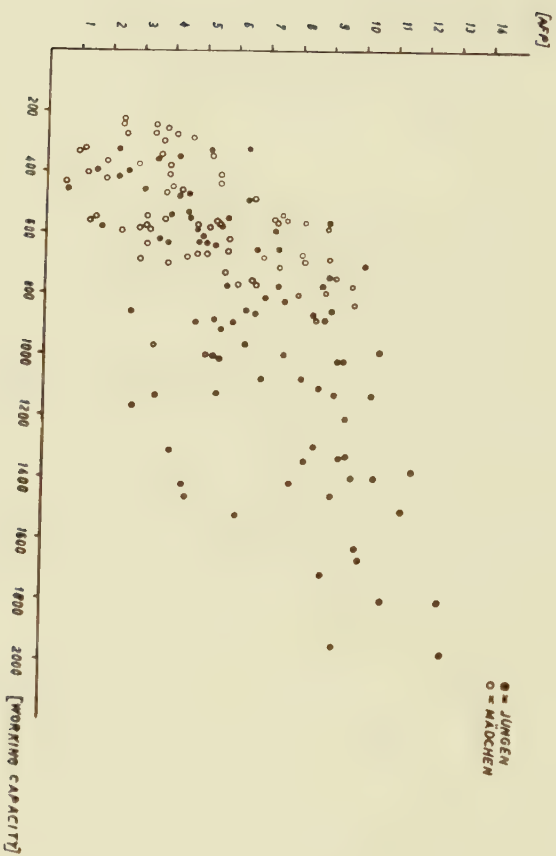
Abbildung 5: Beziehung zwischen den Werten der Gesamtpulssumme und der "working capacity"



500 die Werte der "working capacity" eine relativ geringe Streuung aufwiesen. Jenseits dieser Grenze streuten die ermittelten Werte aber sehr viel weiter, so daß hier Personen, die nach der Beurteilung ihrer Leistungsfähigkeit mit Hilfe der Gesamtpulssumme als annähernd gleich leistungsfähig eingestuft wurden, Werte der "working capacity" zwischen 500 und 2 000 mkp/min aufwiesen. Bei Betrachtung der Abbildung 5 zeigt sich also, daß für die Beziehung zwischen Gesamtpulssumme und "working capacity" die gleichen Gesetzmäßigkeiten gelten, wie sie vorher für das Verhältnis zwischen Leistungspulsindex und "working capacity" erörtert wurden.

Ein gänzlich anderes Bild ergibt der Vergleich zwischen Amplitudenfrequenzprodukt und "working capacity". In Abbildung 6 sind die Leistungen, bei denen ein Amplitudenfrequenzprodukt von 10 000 erreicht wurde, mit den Ergebnissen der "working capacity" korreliert. Man erkennt, daß eine in etwa lineare Beziehung zwischen den zwei Indices bestand. Dabei traten bei allen Werten der "working capacity" relativ große Streubereiche für das Amplitudenfrequenzprodukt auf. So ließen sich z.B. bei "working capacities" von 300 bis 600 mkp/min Leistungen des sog. Amplitudenfrequenzproduktes von 10 000 von 1 - 9 mkp/sec ermitteln. Bei Kindern und Jugendlichen mit einer "working capacity" von 800 - 1200 mkp/min konnten wir Ergebnisse für das Amplitudenfrequenzprodukt von 3 - 10 mkp/sec finden.

Abbildung 6 : Beziehung zwischen den Werten des Amplitudenfrequenzproduktes und der "working capacity"



c) Statistische Analyse der Ergebnisse

Um unsere Ergebnisse weiter zu analysieren wurden für die Beziehungen zwischen allen Leistungsprüfungen die Maß-Korrelationen berechnet. Die Ergebnisse unserer Berechnungen sind in den Tabellen 11 mit 14 aufgeführt.

In der Tabelle 11 wurden die Korrelationskoeffizienten für die Buben und Mädchen zusammengestellt und die entsprechenden z-Werte mitangegeben. Man erkennt in Tabelle 11, daß zwischen den Werten des Leistungspulsindex und den Gesamtpulssummen der Buben mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = +0,80$ die engste Korrelation bestand. Damit wurde auch rechnerisch unsere Annahme unterstützt, daß es praktisch gleich ist, welchen von beiden Indices man zur Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit heranzieht. Niedrigere Korrelationskoeffizienten ergaben sich für die Beziehung zwischen der "working capacity" und dem Leistungspulsindex bzw. der "working capacity" und der Gesamtpulssumme mit Werten von $r = -0,72$ bzw. $-0,66$. Die Beurteilung der Leistungsfähigkeit mit Hilfe der "working capacity" und mit Hilfe des Amplitudenfrequenzproduktes wies mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = +0,58$ eine noch geringere Übereinstimmung auf. Die lockerste Beziehung fanden wir zwischen den mit Hilfe des Amplitudenfrequenzproduktes gewonnenen Ergebnissen und den Werten der Gesamtpulssumme bzw. des Leistungspulsindex. Die Korrelationskoeffizienten betragen hier $r = -0,54$ bzw. $-0,53$.

Um zu prüfen, ob die gefundenen Korrelationskoeffizienten eine sichere Aussage über den angenommenen Zusammenhang erlaubten, wurde jeweils mit Hilfe der t-Funktion geprüft, ob sich die Korrelationen "signifikant" von einer mit 0 angenommenen Korrelation unterschieden. Unsere Berechnungen ergaben, daß alle Korrelationen "signifikant" von 0 unterschieden waren und somit echte Zusammenhänge wiedergaben.

Darüberhinaus war von Interesse, ob die Korrelationen unter-

Die Korrelationskoeffizienten für die Beziehung zwischen den verschiedenen Indices mit Angabe der z-Werte, sowie der Anzahl der Untersuchungspersonen (n).

Tabelle 11

Korrelationen	Buben			Mädchen			z-Diff.	Bub.u.Mädch. zusammen
	r	z	n	r	z	n	Bub/Mäd.	r
LPI : GPS	+0,80	1,10	95	+0,52	0,58	99	(0,52)	+0,69
LPI : WC.	-0,72	0,91	88	-0,68	0,83	72	(0,08)	-0,68
GPS : WC.	-0,66	0,79	89	-0,65	0,77	69	(0,02)	-0,61
AFP : WC.	+0,62	0,72	83	+0,52	0,58	69	(0,14)	+0,64
AFP : GPS	-0,54	0,60	91	-0,31	0,32	97	(0,28)	-0,55
AFP : LPI	-0,53	0,59	92	-0,43	0,46	80	(0,13)	-0,53

Die Abkürzungen bedeuten:

LPI = Leistungspulsindex

GPS = Gesamtpulssumme

WC. = "working capacity"

AFP = Amplitudenfrequenzprodukt

Differenzen zwischen den gefundenen Korrelationskoeffizienten der Buben. (Prüfung der Korrel.-Unterschiede über die z-Transformation)

Tabelle 12

B u b e n	Diff. $z_1 - z_2$
1. (LPI : GPS) : (LPI : AFP)	= 0,51 ^x
2. (LPI : GPS) : (GPS : AFP)	= 0,50 ^x
3. (LPI : GPS) : (WC. : AFP)	= (0,38)
4. (LPI : GPS) : (WC. : GPS)	= (0,31)
5. (LPI : GPS) : (WC. : LPI)	= (0,19)

einander "signifikante" Unterschiede aufwiesen. Wir prüften darum die Unterschiede gegenüber der engsten Korrelation über die z-Transformation, wobei alle z-Werte mit positivem Vorzeichen gewertet wurden. Das Ergebnis unserer Berechnung haben wir in Tabelle 12 zusammengestellt und man erkennt, daß der größte Korrelationsunterschied zwischen den Korrelationen Leistungspulsindex/Gesamtpulssumme und Leistungspulsindex/Amplitudenfrequenzprodukt bestand. Dieser Unterschied war mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,51 "signifikant", was auch für die Korrelationsdifferenz zwischen Leistungspulsindex/Gesamtpulssumme und Gesamtpulssumme/Amplitudenfrequenzprodukt noch zutraf. Alle übrigen Unterschiede lagen jedoch im Zufallsbereich.

Bei den Mädchen ergaben sich, wie die Tabelle 11 zeigt, etwas andere Verhältnisse. Hier lag die engste Korrelation beim Verhältnis zwischen Leistungspulsindex und "working capacity", während Leistungspulsindex und Gesamtpulssumme erst die drittengste Korrelation aufwiesen. Im übrigen traten hier aber insofern keine weiteren grundsätzlichen Unterschiede gegenüber den Verhältnissen bei den Buben auf, als insgesamt die engsten Korrelationen zwischen denjenigen Funktionsproben, bei denen nur Pulswerte verwendet wurden, lagen; die losesten Korrelationen aber waren zwischen Funktionsproben mit gemischten Werten zu finden (z.B. Amplitudenfrequenzprodukt/Gesamtpulssumme).

Um zu prüfen, ob "signifikante" Unterschiede in der Enge der beschriebenen Korrelationen bestanden, haben wir in Tabelle 13 die einzelnen Korrelationen dem Korrelationskoeffizienten zwischen Leistungspulsindex und "working capacity", der bei den Mädchen den höchsten Wert zeigte, gegenübergestellt. Wie die Tabelle erkennen läßt, fanden wir bei Prüfung der Signifikanz über die z-Transformation nur für den Unterschied zwischen Leistungspulsindex/"working capacity" und Gesamtpulssumme/Amplitudenfrequenzprodukt eine "signifikante" Differenz. Alle anderen Unterschiede hatten eine Zufallswahrscheinlichkeit von $> 0,27\%$.

Die Besprechung der Tabellen 12 und 13 zeigte somit, daß gewisse Unterschiede in der Rangfolge der Korrelationen bei Buben und

Differenzen zwischen den gefundenen
Korrelationskoeffizienten der Mädchen.
(Prüfung der Korrel.-Unterschiede
über die z-Transformation)

Tabelle 13

<u>M ä d c h e n</u>	Diff. $z_1 - z_2$
1. (LPI : WC.) : (GPS : AFP) =	0,51 ^x
2. (LPI : WC.) : (LPI : AFP) =	(0,37)
3. (LPI : WC.) : (WC. : AFP) =	(0,25)
4. (LPI : WC.) : (LPI : GPS) =	(0,25)
5. (LPI : WC.) : (WC. : GPS) =	(0,06)

Differenzen zwischen den verschiedenen
Korrelationskoeffizienten unseres ge-
samten Untersuchungsgutes.
(Prüfung der Korrel.-Unterschiede
über die z-Transformation)

Tabelle 14

<u>Buben und Mädchen gemeinsam</u>	Diff. $z_1 - z_2$
1. (LPI : GPS) : (LPI : AFP) =	0,24)
2. (LPI : GPS) : (GPS : AFP) =	(0,23)
3. (LPI : GPS) : (GPS : WC.) =	(0,14)
4. (LPI : GPS) : (AFP : WC.) =	(0,09)
5. (LPI : GPS) : (LPI : WC.) =	(0,02)

Mädchen bestanden. Stellt man für beide Reihen allerdings die Rangkorrelation auf, so findet sich ein Korrelationskoeffizient von $= 0,77$. Prüft man außerdem die Korrelationsdifferenzen zwischen den Geschlechtern für gleiche Korrelationen, dann lassen sich, wie die letzte Spalte von Tabelle 11 erkennen läßt, keine "signifikanten" Unterschiede nachweisen. Aus diesem Grunde ist das Zusammenfassen der Werte für Jungen und Mädchen, wie wir es in den Abbildungen 1 bis 6 durchführten, statistisch gerechtfertigt.

Abschließend haben wir darum in Tabelle 11 die Korrelationskoeffizienten für das Verhältnis der einzelnen Funktionsproben für Jungen und Mädchen gemeinsam berechnet. Man erkennt, daß hier auch die engste Korrelation zwischen den Werten der Gesamtpulssumme und dem Leistungspulsindex bestand, die loseste zwischen den Leistungspulsindexwerten und dem Amplitudenfrequenzprodukt.

Prüfte man auch die gemeinsam berechneten Korrelationskoeffizienten auf ihre statistische Sicherheit, so erwiesen sich alle wiederum als "signifikant" von 0 unterschieden. Die Differenzen der einzelnen Korrelationen zur engsten Korrelation: Leistungspulsindex/Gesamtpulssumme hatten allerdings alle, wie Tabelle 14 zeigt, eine Zufallswahrscheinlichkeit von $> 0,27\%$, doch entsprach die Rangfolge der Korrelationsdifferenzen grundsätzlich den vorher für beide Geschlechter einzeln geschilderten Tendenzen.

3. Diskussion der Ergebnisse.

Unsere Untersuchungen zeigen, daß sich mit den in der Arbeitsphysiologie und der klinischen Medizin bei Erwachsenen gebräuchlichen Funktionsproben auch bei Kindern eine Differenzierung des Leistungsverhaltens durchführen läßt. Die von uns verwendeten Funktionsproben: Leistungspulsindex, Gesamtpulssumme, "working capacity" und Amplitudenfrequenzprodukt ließen in unseren Untersuchungen alle eine deutliche Abhängigkeit vom Lebensalter und vom Geschlecht der Kinder und Jugendlichen erkennen.

Wenn man nun entscheiden will, welche der genannten Proben im Kindesalter besonders günstig ist, so hat man zu prüfen, inwieweit verschiedene Verfahren gleiche Aussagen über den Leistungsstand machen und abzuwägen, welche Funktionsproben am einfachsten auszuführen sind. Wendet man diese Prinzipien auf unsere Untersuchungen an, dann findet man, daß sich bei Kindern und Jugendlichen eine Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit besonders gut mit Pulsfrequenzmessungen durchführen läßt, bei denen die Arbeit über längere Zeit kontinuierlich ausgeführt werden muß. Wie unsere Untersuchungen zeigen, ist es dabei gleich, ob man die Leistungsbeurteilung mit kontinuierlich steigender Belastung (Leistungspulsindex) oder bei konstanter Belastung unter Einschluß der Erholungsphase (Gesamtpulssumme) vornimmt. Beide Untersuchungsverfahren zeigten bei unseren Kindern und Jugendlichen den engsten Zusammenhang, so daß ihr Aussagewert im wesentlichen identisch ist. Hieraus ergibt sich die praktische Konsequenz, daß man auf die Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit mit Hilfe der zeitraubenden Ermittlung der Gesamtpulssumme verzichten kann und sie durch die sehr viel einfachere Bestimmung des Leistungspulsindexes ersetzen sollte.

Die Bestimmung der "working capacity" bietet nach unseren Untersuchungen gegenüber den anderen Verfahren nur bei Personen mit großer körperlicher Leistungsfähigkeit gewisse Vorteile. In diesem Bereich sind die Differenzierungsmöglichkeiten mit Hilfe des Leistungspulsindexes und der Gesamtpulssumme offensichtlich zu

gering. Bei Personen mit einem Leistungspulsindex unter 4,0 bzw. einer Gesamtpulssumme unter 400 dürfte darum eine weitere Bestimmung der "working capacity" für die nähere Analyse der Leistungsfähigkeit lohnend sein. Auf Grund unserer Untersuchungen stellt die Bestimmung des Grenzamplitudenfrequenzproduktes von 10 000 bei Kindern und Jugendlichen keine reine Methode zur Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit dar. Vielmehr beurteilt man damit außerdem noch die Ansprechbarkeit des Kreislaufs auf eine psychische Anspannung. Dies kann in manchen Fällen möglicherweise sehr wünschenswert sein, schränkt aber den Wert der Methode für die Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit nicht unerheblich ein, da ihr Aussagewert mehrdeutig wird.

IV. Zusammenfassung

=====

Nach einem kurzen Einblick in die Methodik von Funktionsproben, wie sie in der Arbeitsphysiologie sowie der klinischen Medizin des Erwachsenen zur Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit gebräuchlich sind, wird über die Erfahrungen mit solchen Proben an Kindern an Hand der vorliegenden Literatur berichtet.

Auf Grund eigener Untersuchungen an 103 Knaben und 103 Mädchen im Alter von 10, 12, 14, 16 und 18 Jahren wurde zu dem Wert der einzelnen Untersuchungsmethoden Stellung genommen.

Die Kinder und Jugendlichen hatten an einem Fahrradergometer bei kontinuierlich ansteigender bzw. konstant bleibender Belastung zu arbeiten. In den verschiedenen Versuchen wurden bei jedem Kind der "Leistungspulsindex" (E.A. MÜLLER), die "working capacity" (WAHLUND), die "Gesamtpulssumme" (KARRASCH u. MÜLLER), die "Arbeitspulssumme", die "Erholungspulssumme", sowie der Belastungswert ermittelt, bei dem ein Amplitudenfrequenzprodukt von 10 000 (LEHMANN u. MICHAELIS) auftrat. Unser Untersuchungsgut umfaßt insgesamt 935 Arbeitsversuche.

Bei kritischer Würdigung der Ergebnisse konnten wir feststellen, daß der "Leistungspulsindex" und die Bestimmung der "Gesamtpulssumme" zur Ermittlung des individuellen Leistungsverhaltens bei Kindern und Jugendlichen in etwa gleichwertige Größen darstellen.

Die "working capacity" läßt sich bei besonders leistungsfähigen Kindern und Jugendlichen zur weiteren Analysierung ihrer Leistungsfähigkeit heranziehen.

Dagegen eignet sich die Leistungsprüfungsmethode mit Hilfe des Amplitudenfrequenzproduktes von 10 000 zur ausschließlichen Leistungsprüfung bei den von uns untersuchten Jahrgängen weniger, da hier die vegetative Ansprechbarkeit auf psychische Anspannungen einen zu starken Einfluß ausübt.

V. Literaturverzeichnis

=====

1. Bach, F.: Ergebnisse von Massenuntersuchungen über die sportliche Leistungsfähigkeit und das Wachstum Jugendlicher in Bayern.
 Limpert-Verlag, Frankfurt (1955)

2. Bartenwerfer, H.:
 Herzrhythmik - Merkmale als Indikatoren psychischer Anstrengung.
 Psychol. Beiträge 4, 7 (1960)

3. Bengtsson, E.:
 The working capacity in normal children, evaluated by submaximal exercise on the bicycle ergometer and compared with adults.
 Acta med.Scand. 154, 91 (1956)

4. Gullumbine, H., Bibile, S.W., Wikramanayake, T.W., uWatson, R.:
 Influence of age, sex, physique and muscular development on physical fitness.
 J. appl. Physiol. 2, 488 (1950)

5. Gallagher, J.R., Brouha, L., uJohnson, T.J.:
 Dynamic physical fitness in adolescence: The use of the step-test in the evaluation of the fitness of adolescents.
 Yale J. Biol. 15, 781 (1934)

6. Gillepsie, R.D.:
 The relative influence of mental and muscular work on the pulse-rate and blood-pressure.
 J. Physiol. (Lond.) 58, 425 (1924)

7. Graser, F.:
 Persönliche Mitteilung.

8. Hollmann, W.:
 Der Arbeits- und Trainingseinfluß auf Kreislauf und Atmung.
 Steinkopff-Verlag, Darmstadt (1959)

9. Heinemann, W.:
Med. Diss. Bonn (1949)

10. Karrasch, K. u. Müller, E.A.:
Das Verhalten der Pulsfrequenz in der Erholungs-
periode nach körperlicher Arbeit.
Arbeitsphysiologie 14, 369 (1951)

11. Keuth, U. u. Feusquens, M.:
Die hämodynamischen Kreislaufgrößen im Säuglings-
und Kindesalter (Normwerte und vergleichende Unter-
suchungen).
Zschr. Kinderhk. 78, 379 (1956)

12. Kirchhoff, H.W., Reindell, H. u. Giehse, J.:
Untersuchungen zur Beurteilung der Leistungs-
fähigkeit im Kindesalter.
Zschr. Kinderhk. 78, 638 (1956)

13. Kirchhoff, H.W., Reindell, H. u. Hauswaldt, Ch.:
Untersuchungen zur Beurteilung der Leistungs-
breite im Reifungsalter.
Zschr. Kinderhk. 81, 211 (1958)

14. Koller, S.: Graphische Tafeln zur Beurteilung statistischer
Zahlen.
Steinkopff-Verlag, Darmstadt (1953)

15. Korotkoff, N.S.:
Jz. voenno - med. Akad. 11, 365 (1905)
Zit. nach G.W. Pickering: High Blood Pressure.
Churchill: London 1955

16. Lehmann, G. u. Michaelis, H.:
Die Messung der körperlichen Leistungsfähigkeit.
Arbeitsphysiologie 11, 376 (1941)

17. Lenz, W.: "Wachstum, Körpergewicht, Körperlänge,
Proportionen, Habitus" in
Biologische Daten für den Kinderarzt, Brock (1954)

18. Liljestrand, G., u. Zander, E.:

Vergleichende Bestimmungen des Minutenvolumens des Herzens beim Menschen mittels der Stickoxydulmethode und durch Blutdruckmessungen.

Zschr. exper. med. 59, 105 (1927)

19. Master, A.M., u. Oppenheimer, E.T.:

Simple exercise tolerance test for circulatory efficiency with standard tables for normal individuals.

Amer. J. Medical science 177, 223 (1929)

20. Matthes, K.:

Kreislaufuntersuchungen am Menschen mit fortlaufend registrierenden Methoden.

Thieme-Verlag, Stuttgart (1951)

21. Müller, E.A.:

Ein Leistungspulsindex als Maß der Leistungsfähigkeit.

Arbeitsphysiologie 14, 271 (1952)

22. Müller, E.A.:

Radmarkt 4, 13 (1952)

23. Müller, E.A., u. Himmelmann, W.:

Geräte zur kontinuierlichen fotoelektrischen Pulszählung.

Arbeitsphysiologie 16, 400 (1950)

24. Nöcker, J., u. Böhlau, V.:

Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit vom Alter und Geschlecht.

Münch. med. Wschr. 46, 1517 (1955)

25. Riva-Rocci: Un nuovo sfigmomanometro.

Gazz. med. Torino (1896)

26. Robinson, S.:

Experimental studies of physical fitness in relation to age.

Arbeitsphysiologie 10, 251 (1938)

27. Rotschuh, K.E. :

Die Regulationsprüfung des Kreislaufs.
Eine einfache Kreislauffunktionsprobe.
Münch. med. Wschr. 50, 1974 (1937)

28. Rutenfranz, J.:

Über das Verhalten der Pulsfrequenz bei
Arbeit unter Zeitdruck.
Int. Zschr. angew. Physiol. 18, 264 (1960)

29. Rutenfranz, J., u. Hettinger, Th.:

Untersuchungen über die Abhängigkeit eines
Leistungspulsindex von Lebensalter, Geschlecht
und körperlicher Entwicklung.
Zschr. Kinderhk. 83, 65 (1959)

30. Rutenfranz, J., Hellbrügge, Th., Stehr, K.,
Hocke, Ch., u. Hocke, R. :

Über den Einfluß des Filmerlebnisses auf das
Pulsverhalten von Kindern.
Zschr. Kinderhk. 84, 522 (1960)

31. Schellong, F., u. Lüderitz, B.:

Regulationsprüfung des Kreislaufs: Funktionelle
Differentialdiagnose von Herz- und Gefäßstörungen.
Steinkopff-Verlag, Darmstadt (1954)

32. Schmidt-Voigt, J.:

Das Körperbild im Reifungsalter.
Erg. inn. Med. 64, 995 (1945)

33. Vogt, D.: Über den gegenwärtigen Stand der Akzeleration
in Bayern.

Arch. Kinderhk. 159, 141 (1959)

34. Wahlund, H.:

Determination of the physical working capacity.
Acta med. Scand. Suppl. 215 (1948)

N a c h w o r t

Die vorliegende Arbeit ist aus dem Bestreben entstanden, die recht unvollständigen Kenntnisse der Kreislaufphysiologie im Kindes- und Jugendalter durch einen kleinen Beitrag zu bereichern. Die Arbeit ist das Werk gemeinsamer Bemühungen.

Es ist mir ein Anliegen, Herrn Professor Dr. med. Th. HELLBRÜGGE für die Überlassung des Themas und für die freundliche Unterstützung bei den Untersuchungen vielmals zu danken.

Herrn Professor Dr. med. G. WEBER, dem Direktor der Universitäts-Kinderpoliklinik, möchte ich für das liebenswürdigerweise übernommene Referat dieser Arbeit danken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. med. Dr. phil. J. RUTENFRANZ, der mir bei der Durchführung der Untersuchungen und bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse jederzeit mit Rat und Tat behilflich war.

Fräulein Dr. med. E. KEILHACKER möchte ich für die gute kollegiale Zusammenarbeit bei der Ausführung der in einem größeren Rahmen durchgeführten gemeinsamen Untersuchungsreihe meinen herzlichen Dank aussprechen.

Fräulein I. REIFF sage ich für die Ausführung der Zeichnungen herzlichen Dank.

VI. Lebenslauf

Am 10.1.1934 wurde ich in Breslau als 3. Sohn des Regierungsrates Dr. jur. Ernst H o c k e und seiner Ehefrau Maria, geb. Rosenberg, geboren.

Die Volksschule besuchte ich von 1940 - 1944 in Kattowitz/Oberschlesien. Von September 1944 - Januar 1945 war ich Schüler des dortigen humanistischen Gymnasiums. Erst im März 1946 konnte ich infolge von Nachkriegsumständen meine Schulausbildung an der Oberschule Nordhorn fortsetzen. Im Zuge des Wohnungswechsels meiner Eltern besuchte ich an weiteren Schulen die Luitpold-Oberrealschule in Wasserburg/Inn sowie die Luitpold-Oberrealschule in München, an der ich im Juli 1954 die Reifeprüfung ablegte.

Im Winter-Halbjahr 1954/55 begann ich an der Ludwig-Maximilians-Universität München das Studium der Medizin und konnte da nach 5 Semestern im Februar 1957 die Ärztliche Vorprüfung mit Erfolg ablegen. Auch die 6 klinischen Semester belegte ich in München, wo ich am 15. Juni 1960 das Staatsexamen bestand.

Vom 1. September 1960 bis 31. Oktober war ich an der Universitäts-Kinderpoliklinik als Medizinalassistent tätig. Zur Zeit bin ich auf der II. Medizinischen Abteilung des Städtischen Krankenhauses München rechts der Isar beschäftigt.

